

TUGAS AKHIR - TM 141585

**STUDI EKSPERIMEN DAN PERMODELAN
FINITE ELEMENT MATERIAL *EPOXY*
DENGAN PENGUAT *CARBON FIBER*
TERHADAP BEBAN TORSI PADA *SHAFT*
KENDARAAN**

ESYA SAPUTRA
NRP 2108 100 007

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR – TM 141585

STUDI EKSPERIMEN DAN PERMODELAN FINITE ELEMENT MATERIAL EPOXY DENGAN PENGUAT CARBON FIBER TERHADAP BEBAN TORSI PADA SHAFT KENDARAAN

**ESYA SAPUTRA
NRP. 2108 100 007**

Dosen Pembimbing :
Dr. Eng. Sutikno, ST., MT

PROGRAM SARJANA
LABORATORIUM MEKANIKA DAN MESIN FLUIDA
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



FINAL PROJECT – TM141585

**EXPERIMENTAL STUDY AND FINITE ELEMENT
MODELING OF EPOXY MATERIAL WITH
CARBON FIBER REINFORCEMENT AGAINST
TORQUE ON VEHICLE SHAFT**

**ESYA SAPUTRA
NRP. 2108 100 007**

Faculty Advisor
Dr. Eng. Sutikno, ST., MT

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF
TECHNOLOGY
SURABAYA
2016

**STUDI EKSPERIMEN DAN PERMODELAN *FINITE*
ELEMENT MATERIAL *EPOXY* DENGAN PENGUAT
CARBON FIBER TERHADAP BEBAN TORSI PADA *SHAFT*
KENDARAAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik
pada Proram Studi S1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

ESYA SAPUTRA
NRP. 2108100007

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. **Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T** (Pembimbing)
NIP. 197407032000031001
2. **Indra Sidharta, ST., M.Sc.** (Penguji 1)
NIP. 198006192006041004
3. **Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc.** (Penguji II)
NIP. 198202092012121001
4. **Alief Wikarta, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.** (Penguji III)
NIP. 198202102006041002

**SURABAYA
JANUARI 2017**

STUDI EKSPERIMEN DAN PERMODELAN FINITE ELEMENT MATERIAL EPOXY DENGAN PENGUAT CARBON FIBER TERHADAP BEBAN PUNTIR PADA SHAFT KENDARAAN

Nama Mahasiswa : ESYA SAPUTRA
NRP : 2108 100 007
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr.Eng.Sutikno, ST., MT.

ABSTRAK

Aplikasi dari komposit sudah sangat berkembang dengan pesatnya. Komposisi dari komposit juga sangat sudah beragam, namun penelitian tentang pengaplikasian material epoxy dengan penguat carbon fiber pada shaft belum bisa dikatakan banyak. Penelitian tentang beban puntir yang akan diterima oleh carbon fibre shaft juga sangat terbatas. Pemilihan material ringan dan memiliki kemampuan dalam menahan beban puntir ini merupakan tujuan dari penelitian ini sehingga dapat menggantikan peran baja pejal sebagai shaft kendaraan.

Permodelan shaft dibuat dengan menggunakan software berdasarkan dari data teknis yang telah diperoleh. Material yang digunakan dalam permodelan yaitu campuran dari Epoxy resin dengan penguat Carbon fiber. Dilakukan simulasi pada kedua model dengan memberikan momen puntir sebesar 143 N.m pada salah satu ujungnya untuk membandingkan besarnya Angle of Twist, Torsional Stiffness dan Maximum Shear Stress. Pembuatan shaft dengan material komposit dibuat sesuai dengan model dan diuji untuk memvalidasi hasil simulasi.

Hasil simulasi didapatkan bahwa shaft Carbon Fiber dengan ketebalan 6 layer berorientasi sudut 0° sudah memenuhi, karena setelah dilihat dari 3 aspek yaitu Angle of Twist, Torsional Stiffness dan Maximum Shear Stress sudah memenuhi untuk dinyatakan lebih baik dibandingkan baja pejal SM45C. Setelah

dilakukan simulasi untuk menentukan layer yang digunakan, didapatkan hasil simulasi terkait variasi orientasi serat yang terbaik yaitu orientasi 45° pada keenam layer-nya. Sesuai dengan tujuan dari penelitian ini dimana composite carbon fiber ini merupakan material yang dikenal memiliki density yang jauh lebih ringan dibandingkan baja. Maka dari itu, dilakukan simulasi dengan mengurangi jumlah layer untuk orientasi serat 45° dalam beberapa model dan didapatkan hasil berupa shaft Carbon Fiber dengan ketebalan 5 layer yang memiliki orientasi serat 45° di setiap layer-nya adalah hasil terbaiknya dibandingkan baja pejal SM45C.

Pada proses eksperimen dilakukan pembuatan prototype shaft. Prototype shaft dikenai oleh pengujian torsi sebesar 143 Nm. Dari pengujian tersebut didapatkan bahwa prototype telah memenuhi ketentuan ditandai dengan tidak terjadinya kerusakan pada shaft.

Kata kunci: carbon fiber, komposit, Epoxy, uji puntir

EXPERIMENTAL STUDY AND FINITE ELEMENT MODELING OF EPOXY MATERIAL WITH CARBON FIBER REINFORCEMENT AGAINST TORQUE ON VEHICLE SHAFT

Nama Mahasiswa : ESYA SAPUTRA
NRP : 2108 100 007
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr.Eng.Sutikno, ST., MT.

ABSTRACT

The application of composite is already developed rapidly. The composition of composite also vary, but not much research are done on the application of epoxy materials with carbon fiber reinforcement in the shaft. Research on twisting loads distribution to the carbon fiber shaft are also very limited. Lightweight material selection and the ability to withstand twisting loads are the intention of this research that replaced the role of solid steel as a vehicle shaft.

Shaft modeling is made by using software based on technical data which have been obtained. The materials used in the modeling are a mixture of epoxy resin with carbon fiber reinforcement. Simulations are performed on both models by providing a torque of 143 N.m at one end of the shaft for comparing the magnitude angle of twist, torsional stiffness, and maximum shear stress. The manufacturing of shafts with composite materials are made in accordance with the model and tested to validate the simulations results.

The simulation results showed that carbon fiber with 6 layers of thickness have an orientation angle of 0° have met the criteria and better than solid steel SM45C because of the 3 aspects angle of twist, torsional stiffness, and maximum shear stress. After the simulation for determining the used of layers, the best result of simulation-related fiber orientation variation are 45° for all the

layers. In accordance with the objectives of this study which is the carbon fiber composite material that is known to have much lighter density than steel. Therefore, simulations are done by reducing the number of layers of 45° oriented fiber in some models and the results obtained in form of shaft carbon fiber with a thickness of 5 layers that have an orientation of 45° fiber in each layers and is the best result compared to solid steel SM45C.

The experiment process are done by manufacturing a shaft prototype. The shaft prototype is subjected to a torque of 143 N.m. from these tests it was found that the prototype has met the requirement characterized by none damaged shaft.

Key Words: carbon fiber, composite, epoxy, torque test

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT karena hanya dengan rahmat dan petunjuknya akhirnya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Studi Eksperimen Dan Permodelan Finite Element Material Epoxy Dengan Penguat Carbon Fiber Terhadap Beban Puntir Pada Shaft Kendaraan**”. Penulis ingin berterima kasih kepada orang-orang di sekitar penulis yang ikut terlibat dalam penulisan tugas akhir ini. Secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga penulis yaitu Papa, Mama dan Adik penulis yang selalu memberikan doa dan kasih sayangnya. Terima kasih atas dukungan baik secara moril maupun materil yang tiada henti selama ini.
2. Bapak **Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.** selaku dosen pembimbing tugas akhir ini. Terima kasih untuk waktu, kritik dan saran serta motivasinya hingga terselesaikan tugas akhir ini.
3. **Indra Sidharta, ST., M.Sc, Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc,** dan **Alief Wikarta, ST., M.Sc.Eng., Ph.D.** selaku dosen pembahas yang telah memberikan saran dan masukan demi kesempurnaan tugas akhir.
4. Teman Spesial yang tidak mengenal lelah memberikan pengertian dan dukungan dalam bentuk apapun, secara intim dan kontinyu, tidak lain adalah **Auriga Prawinarti Putri**.
5. Teman – Teman Tugas Akhir; **Safaat, Aufar, Gani, Hisyam, Endri, Wira, Amri, Luthfan, Gandung, Raja, Aji (Belum), Anas, Tasa, Afifah, Khisni, Arale, Chandra, Arya, Mawan** serta segenap aktivis Tugas Akhir di **Laboratorium Metalurgi** maupun **Laboratorium MBP** yang tidak dapat disebutkan satu persatu akan tetapi senantiasa selalu memberi semangat dan doanya bagi kelancaran pengerjaan tugas akhirk.

6. Teman – Teman Sepermainan; **Nabil, Tito, Mas Toni, Kukuh, Eden, Rado, Santos, Luki, Mas Yuli, Windu** serta segenap teman di sekitar lingkungan Teknik Mesin yang tidak dapat disebutkan satu persatu, akan tetapi senantiasa selalu memberikan semangat dan motivasi selama sisa waktu kuliah penulis.
7. Teman – Teman Alumni; **Tyo, Bahadur, Jarakal, Made, Bustan, Alby, Doni, Nuril Becong, Haikal, Fachri Bapink, Buntal, Anto, Jatmiko, Faisal** serta segenap teman-teman yang sudah tidak aktif sebagai mahasiswa teknik mesin akan tetapi senantiasa selalu mengingatkan atas kesadaran penulis selama sisa waktu kuliah penulis.
8. Teman – Teman diluar lingkungan Kampus; **Dandelions dan Dopest Dope** yang memberikan keceriaan dan warna kesibukan di tengah hiruk pikuk proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
9. Teman-teman **M51** atas perjuangan bersama selama menjalani rutinitas perkuliahan di Teknik Mesin.
10. **Segenap Dosen dan Tenaga Kependidikan** yang membantu selama proses di Teknik Mesin ITS.
11. Semua teman-teman **SMRM** yang tidak dapat dipersembahkan secara satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan tugas akhir kedepannya. Akhir kata penulis berharap tulisan ini nantinya dapat memberikan manfaat bagi semua.

Surabaya, 15 Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|-----------------------------|------|
| Judul | |
| Abstrak | i |
| Abstract | iii |
| Kata Pengantar | v |
| Daftar Isi | vii |
| Daftar Gambar | xi |
| Daftar Tabel | xiii |

BAB I PENDAHULUAN

| | |
|--|---|
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.4 Batasan Masalah | 3 |
| 1.5 Sistematika Penulisan Penelitian | 3 |

BAB II DASAR TEORI

| | |
|---|----|
| 2.1 Komposit | 5 |
| 2.1.1 Matriks | 6 |
| 2.1.2 Penguat | 7 |
| 2.2 Perbandingan Komposit dengan Logam lain | 8 |
| 2.3 Epoxy resin | 9 |
| 2.4 Carbon Fiber | 11 |
| 2.5 Poros (<i>Drive Shaft</i>) | 14 |
| 2.6 Pengujian puntir | 16 |
| 2.6.1 Puntiran Poros Berpenampang Lingkaran | 17 |
| 2.7 Kajian Pustaka | 19 |

BAB III METODE PENELITIAN

| | |
|---|----|
| 3.1 Diagram Alir Penelitian | 23 |
| 3.1.1 Diagram Alir Simulasi Poros Baja <i>SM45C</i> | |

| | |
|--|----|
| (Solid) | 24 |
| 3.1.2 Diagram Alir Simulasi <i>Epoxy Carbon Fiber</i> (Hollow) | 25 |
| 3.1.3 Diagram Alir Eksperimental | 26 |
| 3.2 Metodologi Penelitian | 27 |
| 3.2.1 Studi Literatur | 27 |
| 3.2.2 Desain <i>Shaft</i> | 27 |
| 3.2.3 Simulasi Penentuan Arah Serat Optimal dan Jumlah Layer yang Digunakan | 28 |
| 3.3 Pengujian Eksperimen | 29 |
| 3.3.1 Alat dan Bahan | 29 |
| 3.3.1.1 Alat | 29 |
| 3.3.1.2 Bahan | 30 |
| 3.3.2 Langkah Langkah Percobaan | 30 |
| 3.3.2.1 Pembuatan Spesimen Uji | 30 |
| 3.3.2.2 Pengujian Torsi | 31 |
| 3.3.3 Hasil Yang Diharapkan | 32 |

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

| | |
|--|----|
| 4.1 Spesifikasi Geometris Shaft | 33 |
| 4.2 Hasil Simulasi | 33 |
| 4.2.1 <i>Shaft</i> SM45C | 34 |
| 4.2.2 <i>Shaft Carbon Fiber</i> (Variasi Jumlah <i>Layer</i>) | 34 |
| 4.2.2.1 <i>Angle of Twist</i> | 35 |
| 4.2.2.2 <i>Torsional Stiffness</i> .. | 36 |
| 4.2.2.3 <i>Maximum Shear Stress</i> | 37 |
| 4.2.3 <i>Shaft Carbon Fiber</i> (Variasi Orientasi Serat) | 38 |
| 4.2.3.1 <i>Angle of Twist</i> | 38 |
| 4.2.3.2 <i>Torsional Stiffness</i> | 39 |
| 4.2.3.3 <i>Maximum Shear Stress</i> ... | 40 |
| 4.3 Pembahasan | 41 |
| 4.3.1 Variasi Jumlah Layer | 41 |

| | |
|---|----|
| 4.3.1.1 <i>Angle of Twist</i> | 41 |
| 4.3.1.2 <i>Torsional Stiffness</i> | 42 |
| 4.3.1.3 <i>Maximum Shear Stress</i> | 43 |
| 4.3.2 Variasi Orientasi Serat | 44 |
| 4.3.3 Pengurangan Jumlah <i>Layer</i> | 45 |
| 4.4 Eksperimen | 50 |

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

| | |
|----------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan | 55 |
| 5.2 Saran | 55 |

| | |
|-----------------------------|----|
| DAFTAR PUSTAKA | 57 |
|-----------------------------|----|

| | |
|-------------------------------|----|
| BIOGRAFI PENULIS | 58 |
|-------------------------------|----|

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|------------|---|----|
| Gambar 1.1 | <i>Carbon fibre shaft</i> | 1 |
| Gambar 2.1 | <i>Klasifikasi komposit</i> | 5 |
| Gambar 2.2 | <i>Fase-fase dalam komposit</i> | 7 |
| Gambar 2.3 | <i>Perbandingan komposit dengan logam yang lain</i> .. | 9 |
| Gambar 2.4 | <i>Driveshaft Assembly</i> | 15 |
| Gambar 2.5 | <i>Balance weight of a driveshaft</i> | 16 |
| Gambar 2.6 | <i>Power Transmission</i> | 16 |
| Gambar 2.7 | <i>Poros yang mengalami puntiran</i> | 18 |
| Gambar 2.8 | <i>Grafik Pencapaian Torsi Dari Sudut Puntiran dan Orientasi Serat</i> | 20 |
| | | |
| Gambar 3.1 | <i>Skema diagram alir penelitian</i> | 23 |
| Gambar 3.2 | <i>Skema Diagram Alir Simulasi Poros Baja (Pejal)</i> 24 | |
| Gambar 3.3 | <i>Skema Diagram Alir Simulasi Epoxy Carbon Fiber (Hollow)</i> | 25 |
| Gambar 3.4 | <i>Skema Diagram Alir Eksperimental</i> | 26 |
| Gambar 3.5 | <i>Dimensi Shaft Kendaraan</i> | 28 |
| Gambar 3.6 | <i>Layout bentuk 3D pada proses simulasi pada software finite element</i> | 28 |
| | | |
| Gambar 4.1 | <i>Total Deformation SM45C</i> | 33 |
| Gambar 4.2 | <i>Equivalent Stress SM45C</i> | 34 |
| Gambar 4.3 | <i>Maximum Shear Stress SM45C</i> | 34 |
| Gambar 4.4 | <i>Maximum Shear Stress Carbon Fiber (6 Layer 0°)</i> 38 | |
| Gambar 4.5 | <i>Maximum Shear Stress Carbon Fiber(5Layer 45°)</i> 40 | |
| Gambar 4.6 | <i>Grafik pengaruh jumlah Layer terhadap Angle of Twist</i> | 41 |
| Gambar 4.7 | <i>Grafik pengaruh jumlah Layer terhadap Torsional Stiffness</i> | 42 |
| Gambar 4.8 | <i>Grafik pengaruh jumlah Layer terhadap Maximum Shear Stress</i> | 43 |
| Gambar 4.9 | <i>Grafik Angle of Twist Shaft Carbon Fiber orientasi serat 45o</i> | 46 |

| | |
|---|----|
| <i>Gambar 4.10 Grafik Torsional Stiffness Shaft Carbon Fiber orientasi serat 45o</i> | 46 |
| <i>Gambar 4.11 Grafik Maximum Shear Stress Shaft Carbon fiber orientasi serat 45o</i> | 47 |
| <i>Gambar 4.12 Tsai - Hill layer 1 (layer pertama terluar) orientasi serat 45o</i> | 47 |
| <i>Gambar 4.13 Tsai - Hill layer 2 (layer kedua terluar) orientasi serat 45o</i> | 48 |
| <i>Gambar 4.14 Tsai - Hill layer 3 (layer ketiga tengah) orientasi serat 45o</i> | 48 |
| <i>Gambar 4.15 Tsai - Hill layer 4 (layer kedua terdalam) orientasi serat 45o</i> | 49 |
| <i>Gambar 4.16 Tsai - Hill layer 5 (layer pertama terdalam) orientasi serat 45o</i> | 49 |
| <i>Gambar 4.17 Pemberian cairan PVA (Polyvinyl Alcohol) pada cetakan</i> | 51 |
| <i>Gambar 4.18 Pemberian Adhesive Spray dan proses pelilitan Carbon Fiber</i> | 52 |
| <i>Gambar 4.19 Pembungkusan Vacuum Bag pada shaft Carbon Fiber</i> | 53 |
| <i>Gambar 4.20 Pengujian torsi menggunakan kunci torsi sebesar 143Nm</i> | 53 |
| <i>Gambar 4.21 Shaft Carbon Fiber dalam proses penimbangan</i> | 54 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Perbandingan epoxy resin dan polimer lain | 11 |
| Tabel 2.2 Hasil Perbandingan Jumlah Layer dan Torsi Maksimum..... | 21 |
| Tabel 4.1 Spesifikasi Geometri Shaft SM45C dan Carbon Fiber | 33 |
| Tabel 4.2 Hasil Simulasi Shaft SM45C | 34 |
| Tabel 4.3 Hasil Simulasi (Jumlah Layer) Angle of Twist Shaft Carbon Fiber | 35 |
| Tabel 4.4 Hasil Simulasi (Jumlah Layer) Torsional Stiffness Shaft Carbon Fiber | 36 |
| Tabel 4.5 Hasil Simulasi (Jumlah Layer) Maximum Shear Stress Shaft Carbon Fiber | 37 |
| Tabel 4.6 Hasil Simulasi (Orientasi Serat) Angle of Twist Shaft Carbon Fiber | 39 |
| Tabel 4.7 Hasil Simulasi (Orientasi Serat) Torsional Stiffness Shaft Carbon Fiber | 39 |
| Tabel 4.8 Hasil Simulasi (Orientasi Serat) Maximum Shear Stress Shaft Carbon Fiber.. .. | 40 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumbangan teknologi material saat ini terhadap dunia industri telah berkembang dengan pesat. Material yang dibutuhkan tidak hanya harus memiliki kekuatan dan ketangguhan yang tinggi, tetapi juga harus mempunyai berat yang ringan. Dalam dunia industri, ilmu logam memegang peran penting hampir dalam segala aspek. Seperti aspek penggunaan material yang sesuai, biaya, faktor keamanan, efisiensi, kemudahan perawatan dan banyak lagi. Pentingnya peran ilmu logam menjadikan ketertarikan para peneliti untuk mengembangkan sesuai dengan kebutuhan dalam aplikasinya. Karena hal tersebut maka dewasa ini material komposit mulai banyak dikembangkan. Bahan komposit menjadi vital dalam aplikasi industri karena memiliki sifat yang tidak dimiliki oleh bahan teknik lainnya.



Gambar 1.1 Carbon Fibre Shaft [2]

Konstruksi mesin modern dari teknologi terbaru dalam desain dan manufaktur menggunakan material terbaru yang memiliki kekuatan spesifik dan kekerasan lebih dari material tradisional. Material komposit sesuai dengan kriteria ini dengan kemampuan *impact*, ketahanan terhadap *fatigue* dan

getaran. Material komposit juga dapat mempertimbangkan sifat yang diinginkan, dengan menyeleksi komponen yang mempunyai karakteristik lebih baik dari material sebelumnya. Dengan menghasilkan karakteristik yang lebih baik sekarang ini, pemakaian material komposit bertambah dalam pembuatan poros transmisi. Parameter utama dalam pemilihan poros berotasi untuk transmisi daya seperti *drive shaft* dari mesin. Komposit poros *hybrid* dari *carbon fiber* dapat mentransmisikan *torsi* lebih, keuntungan lainnya mengurangi berat, berkurangnya *noise* dan getaran dan juga dapat mengurangi biaya material. Material komposit juga meningkatkan fleksibilitas (sudut dari rotasi poros per beban muatan) juga meningkatkan beban *torsi* sehingga meningkatkan efektivitas *cycle life* dari komponen *drive shaft*.

1.2 Perumusan Masalah

Penggunaan material komposit *epoxy* dengan penguat berupa *carbon fiber* ini merupakan komposit yang sangat jarang diimplementasikan untuk shaft yang berfungsi sebagai alat distribusi daya antara gardan dengan system transmisi. Penambahan *carbon fiber* pada matriks *epoxy* dapat menerima beban *torsi* lebih tinggi dan dapat menurunkan nilai densitas sehingga komposit menjadi lebih ringan.

Dalam penelitian ini, kemampuan material komposit *epoxy carbon fiber* dalam menerima beban *torsi* untuk shaft kendaraan akan dievaluasi.

1.3 Tujuan Penelitian

Carbon fiber merupakan salah satu bentuk material komposit yang bertugas sebagai penguat pada komposit serat karbon. Penggunaan baja pada *shaft* kendaraan pastinya mempengaruhi efisiensi pada kendaraan yang membutuhkan *torsi* tinggi. Oleh karena itu, pemilihan material yang ringan

dan memiliki kemampuan dalam menahan beban *torsi* sangat diperlukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi material *epoxy* dengan penguat *carbon fiber* sebagai *shaft* kendaraan terhadap beban *torsi*, serta mendapatkan pola terbaik yang disusun pada serat karbon dan jumlah lapisan serat karbon yang digunakan dalam penyusunannya.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan, maka batasan masalah yang diberikan adalah sebagai berikut :

1. Desain *shaft* yang digunakan berdasarkan kendaraan mobil dengan tipe sedan
2. Pengujian *torsi* yang dilakukan secara *fatigue*.
3. Diameter *shaft* pada eksperimen berbeda dengan kondisi saat simulasi dikarenakan faktor fabrikasi.

1.5 Sistematika Penulisan Penelitian

Penulisan di susun dalam lima bab yaitu pendahuluan, dasar teori, metodologi penelitian, analisa data dan pembahasan, serta kesimpulan. Adapun perinciannya adalah sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan dijelaskan tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, pembatasan masalah serta tujuan penelitian.

BAB 2 DASAR TEORI

Pada bab dasar teori menjelaskan teori-teori dasar mengenai *composite* dan jenisnya, perhitungan *composite*, konsep pengujian puntir.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab metodologi penelitian dijelaskan tentang data spesimen yang digunakan, metode pengujian yang digunakan,

diagram alir , metode manufaktur, metode pengumpulan data dan segala bentuk prosedur yang diperlukan untuk penelitian ini .

BAB 4 DATA HASIL PENELITIAN

Pada bab ini menampilkan pengolahan data dari hasil pengujian yang telah dilakukan.

BAB 5 ANALISA DATA DAN DISKUSI

Pada bab analisa data dan diskusi menampilkan pembahasan dari data yang didapatkan saat pengujian.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab kesimpulan dan saran diberikan dengan menarik kesimpulan dari hasil percobaan yang telah dianalisa beserta dengan saran untuk penelitian berikutnya.

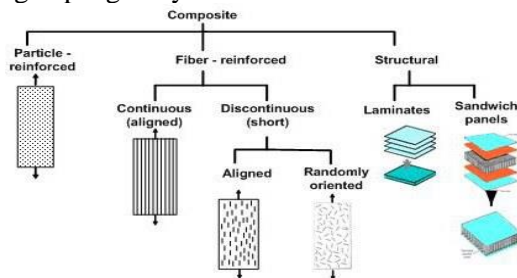
BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Komposit

Komposit adalah suatu material yang terdiri dari gabungan antara dua atau lebih material penyusun yang sifatnya berbeda. Komposit memiliki sifat-sifat sebagai berikut yaitu kekuatan dan kekakuan tinggi, sangat ringan, ketahanan korosi oleh bahan kimia dan cuaca baik, mudah dibentuk, ketahanan creep tinggi, dan kekuatan tekan pada temperatur tinggi baik. Dengan beberapa kelebihan tersebut, menyebabkan komposit banyak diaplikasikan dalam peralatan-peralatan berteknologi tinggi di bidang industri, transportasi, dan konstruksi bangunan.

Bahan material ini terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu bahan utama sebagai bahan pengikat (*reinforce*) dan bahan pendukung sebagai pengisi (matriks). Bahan utama membentuk matrik dimana bahan pengisi ditanamkan di dalamnya. Bahan pengisi dapat berbentuk serat, partikel, serpihan atau juga dapat berbentuk yang lain. Antara matriks dan penguat akan terbentuk lapisan antarmuka (*interface*) yang terjadi akibat reaksi dengan *wetting agent*. Dengan penggabungan material tersebut, maka akan didapatkan suatu material yang sifatnya lebih baik dari material penyusunnya, yang merupakan gabungan dari matriksnya dengan penguatnya.



Gambar 2.1 Klasifikasi Komposit[1]

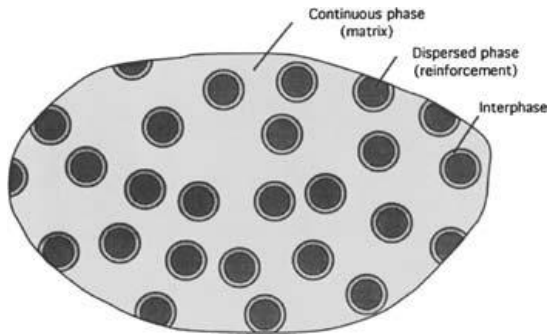
Kelebihan material ini jika dibandingkan dengan logam

adalah perbandingan kekuatan terhadap berat / densitas yang lebih baik serta sifat ketahanan korosinya. Sehingga banyak dikembangkan material alternatif sebagai pengganti logam dikarenakan keterbatasan jumlah yang ada di alam. Komposit yang paling banyak dikembangkan adalah PMC (*Polymer Matrix Composites*). Komposit jenis ini terdiri dari polimer sebagai matriks baik itu *thermoplastic* maupun jenis *thermosetting*. Thermosets yang paling lazim dalam kelompok ini adalah polyester tak jenuh, resin phenol formaldehida, melamin formaldehida, epoxy dan silicone. Sedangkan bahan *thermoplastic* yang lazim dipergunakan sebagai matriks misalnya polyolefin (polyethylene, polypropylene), vinylic, polyamida.

Komposit polimer yang diisi dengan *filler* banyak dikembangkan karena aplikasinya yang luas dan harga yang relatif murah. Penggunaan *filler* merupakan metode yang cepat dan murah untuk memodifikasi sifat mekanik. Secara umum, *filler* digunakan untuk meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan modulus elastisitasnya, tetapi juga dapat dilakukan modifikasi terhadap nilai kekuatan (*strength*), ketangguhan (*toughness*), stabilitas, konduktivitas panas dan listrik.

2.1.1 Matriks

Dalam teknologi komposit, matriks dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai pengisi dan pengikat yang mendukung, melindungi, dan dapat mendistribusikan beban dengan baik ke material penguat komposit.



Gambar 2.2 Fase-fase dalam komposit[1]

Berdasarkan jenis matriksnya, maka komposit dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. **PMC (*Polymer Matrix Composite*)**
Merupakan komposit yang menggunakan material polimer sebagai matriksnya. Contohnya adalah: GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*) dan CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*).
2. **CMC (*Ceramic Reinforced Composite*)**
Adalah komposit yang menggunakan material keramik sebagai fase pengisinya (matriks). Contohnya adalah: Boron reinforced SiC.
3. **MMC (*Metal Matrix Composite*)**
Merupakan komposit yang menggunakan material logam sebagai matriks. Contohnya adalah: Carbon reinforced aluminium.

2.1.2 Penguat

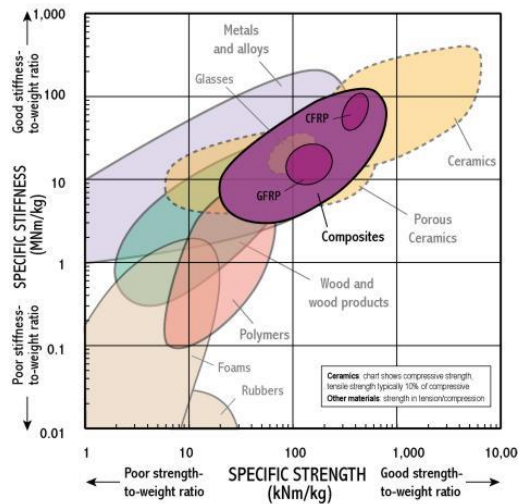
Penguat (*reinforce*) dalam teknologi komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai penguat yang memiliki sifat lebih kuat dari fase matriks dan merupakan suatu konstruksi/rangka tempat melekatnya matriks.

Beberapa bentuk penguat (*reinforcement*) dari material komposit adalah:

- Serat (fiber)
- Partikel
- *Laminate*
- Serpihan (*flakes*)
- Rambut (*whiskers*)

2.2 Perbandingan Komposit dengan Logam lain.

Gambar 2.4 menunjukkan perbandingan logam seperti baja dan aluminium dengan komposit. Aluminium dan besi dipilih sebagai pembanding karena material tersebut banyak digunakan di dunia industri. Dari perbandingan berat, komposit memiliki berat yang lebih ringan daripada besi dan aluminium. Begitu pula perbandingan *thermal expansion* dari komposit yang jauh lebih rendah dari besi dan aluminium sehingga baik digunakan pada media kerja bertemperatur tinggi. Selain itu, kekuatan dan kekakuan komposit lebih tinggi daripada aluminium dan baja. Berat jenis komposit juga lebih rendah dibandingkan dengan logam dan keramik, yaitu sekitar $1,0 - 1,7 \text{ gr/cm}^3$.



Gambar 2.3 Perbandingan komposit dengan logam yang lain^[1]

2.3 Epoxy resin

Epoxy adalah suatu kopolimer, terbentuk dari dua bahan kimia yang berbeda. Ini disebut sebagai "resin" dan "pengeras". Resin ini terdiri dari monomer atau polimer rantai pendek dengan kelompok epoksida di kedua ujung. Epoxy resin Paling umum yang dihasilkan dari reaksi antara epiklorohidrin dan bisphenol-A, meskipun yang terakhir mungkin akan digantikan dengan bahan kimia yang serupa. Pengeras terdiri dari monomer polyamine, misalnya Triethylenetetramine (Teta). Ketika senyawa ini dicampur bersama, kelompok amina bereaksi dengan kelompok epoksida untuk membentuk ikatan kovalen. Setiap kelompok NH dapat bereaksi dengan kelompok epoksida, sehingga polimer yang dihasilkan sangat silang, dan dengan demikian kaku dan kuat. Proses polimerisasi disebut "curing", dan dapat dikontrol melalui suhu.

Sebagaimana jenis plastik lain, kebanyakan plastik adalah isolator listrik dan konduktor panas yang buruk. Kecuali bila ditambahkan campuran, misalnya serbuk logam / karbon lain. Dalam bentuk asli *epoxy* resin memiliki sifat keras dan getas. Tetapi dalam penggunaan, plastik hampir selalu mengandung bahan campuran lain untuk menyesuaikan sifat mekaniknya. Sifat mekanik dari Epoxy resin sudah banyak di modifikasi dalam penggunaannya Baik dari sisi kekuatan, kekenyalan, keuletan, sampai kearah sobekan.

Bahan *Epoxy* cenderung mengeras secara bertahap, berbeda dengan bahan poliester yang cenderung mengeras dengan cepat, terutama jika banyak katalis yang digunakan. reaksi kimia dalam kedua kasus adalah eksotermik. Jumlah besar dari campuran akan menghasilkan panas mereka sendiri dan lebih mempercepat reaksi.

Resin jenis ini memiliki keunggulan yang jika dibandingkan dengan resin jenis lain yang banyak digunakan dalam aplikasi komposit dalam dunia industri. Beberapa keunggulan dan kekurangannya terlihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Perbandingan epoxy resin dan polimer lain[1].

| | | |
|--------------------|---|---|
| Polyesters | Advantages Easy to use Lowest cost of resins available (£1-2/kg) | Disadvantages Only moderate mechanical properties High styrene emissions in open moulds High cure shrinkage Limited range of working times |
| Vinylesters | Advantages Very high chemical/environmental resistance Higher mechanical properties than polyesters | Disadvantages Postcure generally required for high properties High styrene content Higher cost than polyesters (£2-4/kg) High cure shrinkage |
| Epoxies | Advantages High mechanical and thermal properties High water resistance Long working times available Temperature resistance can be up to 140°C wet / 220°C dry Low cure shrinkage | Disadvantages More expensive than vinylesters (£3-15/kg) Critical mixing Corrosive handling |

2.4 Carbon Fiber

Carbon fiber merupakan salah satu bentuk material komposit. Material komposit, yang diambil dari istilah Bahasa Inggris composition materials atau dipendekkan menjadi composite materials, adalah suatu material yang dibuat dari dua atau lebih material penyusun yang saling memiliki perbedaan sifat fisik dan kimia, yang jika dikombinasikan akan menghasilkan material berkarakteristik berbeda dengan material-material penyusunnya. Komposit carbon fiber merupakan salah satu jenis material komposit yang menggunakan fiber karbon sebagai salah satu penyusunnya.

Material komposit tersusun atas dua komponen utama yakni matriks dan material penguat (reinforcement). Fiber karbon bertugas sebagai material penguat pada komposit serat karbon. Sedangkan untuk matriksnya biasanya dipergunakan resin

polimer semacam epoxy. Matriks resin ini berfungsi untuk mengikat material-material penguat. Dikarenakan serat karbon hanya tersusun oleh dua material tersebut maka sifat-sifat serat karbon juga hanya ditentukan oleh kedua material ini.

Sifat dari karbon fiber dipengaruhi oleh beberapa faktor. Satu faktor yang paling utama adalah arah atau alur serat karbon. Berbeda dengan material logam, karbon fiber khususnya dan material komposit lain pada umumnya, disebut sebagai material anisotropik. Maksudnya adalah sifat properti material ini dipengaruhi oleh bentuk dan arah serat penyusunnya. Sehingga kekuatan karbon fiber sangat bergantung terhadap bentuk dan arah serat karbon penyusunnya. Di sisi lain, material-material semacam logam, plastik, dan berbagai macam lainnya memiliki sifat yang tetap sekalipun bentuk dan arah butir-butir molekulnya berbeda-beda. Karena itulah material-material ini disebut material isentropik.

Berikut adalah beberapa faktor utama yang mempengaruhi sifat-sifat karakteristik karbon fiber:

1. Tipe serat karbon dan resin yang digunakan.
2. Rasio campuran serat karbon dan resin.
3. Bentuk serat karbon: searah, bersilangan, berkaitan, atau tidak tentu.
4. Kualitas serat: distribusi serat yang merata, ada tidaknya celah.

Bahan baku setiap karbon fiber berbeda-beda untuk setiap pabrikan, dan menjadi rahasia perusahaan mereka. Namun dapat dipastikan bahwa sekitar 90% karbon fiber dibuat dari bahan dasar polyacrylonitrile (PAN). Sedangkan 10% sisanya diproduksi dari minyak bumi. Semua bahan baku yang digunakan ini merupakan polimer organik, memiliki karakter ikatan molekul panjang yang tersusun atas atom-atom karbon. Proses pembuatan karbon fiber sebagian merupakan proses kimia dan sebagian yang

lain adalah proses mekanik. Berikut adalah tahapan proses manufaktur karbon fiber yang menggunakan bahan baku polyacrylonitrile:

1. Spinning

Bubuk acrylonitrile dicampur dengan plastik lain seperti methyl acrylate atau methyl methacrylate, serta direaksikan dengan katalisator untuk menghasilkan plastik polyacrylonitrile. Plastik ini lalu dibentuk menjadi serat dengan jalan mencampurnya dengan bahan kimia tertentu lalu dipompa melewati nozzle kecil ke dalam sebuah wadah berisi cairan kimia sehingga ia terkoagulasi dan memadat membentuk serat-serat. Pada proses ini terjadi pembentukan struktur atom di dalam serat. Selanjutnya fiber dicuci dan ditarik (stretching) untuk mendapatkan ukuran diameter yang diinginkan.

2. Stabilizing

Sebelum proses selanjutnya, fiber dipanaskan di media udara pada suhu 200-300°C untuk mengikat molekul oksigen dari udara sehingga susunan ikatan kimia molekul serat menjadi lebih stabil. Karena proses kimia yang terjadi akan menimbulkan panas internal, maka pengawasan proses ini harus dilakukan dengan ketat untuk menghindari overheating. Proses ini biasanya dilakukan dengan jalan melewati serat ke beberapa ruang panas yang tersusun secara seri.

3. Carbonizing

Setelah molekul serat stabil, serat dipanaskan pada temperatur 1.000-3.000°C di dalam ruangan berisi campuran gas yang tidak mengandung oksigen sama sekali. Tidak adanya kandungan oksigen di dalam ruang pemanas berfungsi untuk mencegah terbakarnya serat karbon. Tekanan gas di dalam pemanas dijaga lebih tinggi daripada tekanan udara atmosfer untuk mencegah udara luar masuk ke dalam pemanas. Selain itu sisi keluar dan masuk serat karbon di-sealing untuk mencegah kebocoran gas. Tahapan proses ini berfungsi untuk

menghilangkan atom-atom non-karbon yang terkandung di dalam serat seperti uap air, gas amonia, karbon monoksida, karbon dioksida, hidrogen, nitrogen, dan lain sebagainya. Keluarnya molekul-molekul non-karbon tersebut akan membuat molekul-molekul karbon saling membentuk ikatan kristal yang lebih kuat. Proses karbonisasi ini biasanya melibatkan dua atau lebih ruang pemanas yang masing-masing berbeda temperatur untuk lebih memudahkan dalam mengontrol kenaikan temperatur.

4. Oxidation

Setelah proses karbonisasi, permukaan fiber tidak memiliki ikatan yang kuat dengan resin maupun juga komponen komposite lainnya. Untuk menghasilkan ikatan yang kuat dipermukaan fiber, maka diperlukan proses oksidasi lanjutan. Penambahan atom oksigen akan menghasilkan ikatan kimia yang lebih kuat pada permukaannya, serta menghasilkan semacam lapisan kuat dipermukaan serat. Proses oksidasi ini dapat dilakukan dengan merendam serat karbon di dalam udara, karbon dioksida, ozon, atau cairan kimia seperti sodium hipoklorit dan asam nitrit. Proses ini harus dikontrol dengan amat cermat agar tidak menimbulkan cacat permukaan.

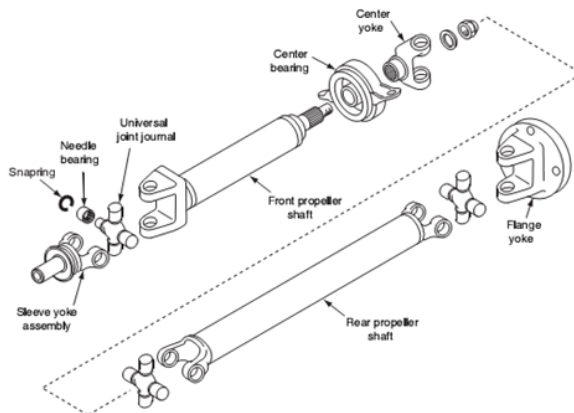
5. Sizing

Setelah proses perlakuan permukaan, serat karbon dilapisi dengan bahan yang sesuai dengan tipe resin yang digunakan, seperti epoxy, polyester, nylon, urethane, dan bahan lainnya. Pelapisan ini berfungsi untuk melindungi fiber dari kerusakan pada proses selanjutnya. Serat karbon yang telah dilapisi ini berbentuk lembaran dan digulung untuk proses penyimpanan. Gulungan serat karbon ini disebut bobbin. Serat karbon dalam bentuk lembaran ini siap dipotong dan dibentuk untuk berbagai kebutuhan.

2.5 Poros (*Drive Shaft*)

Drive shaft merupakan komponen yang berupa poros maupun tabung yang berfungsi sebagai media transmisi daya dari

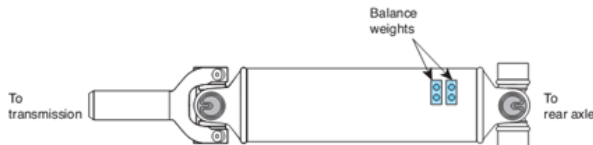
transmisi menuju differential. Drive shaft seringkali disebut juga sebagai propeller shaft. Pada umumnya drive shaft terbuat dari baja tanpa sambungan ataupun tabung alumunium yang dilengkapi dengan universal joint yokes yang dilas pada bagian ujungnya. Untuk mengurangi berat, beberapa pabrik menggunakan drive shaft yang terbuat dari epoxy ataupun carbon fiber. Beberapa kendaraan memiliki dua buah drive shaft dan tiga buah universal joint dan sebuah center support bearing yang berfungsi sebagai penghubung antara dua bagian kendaraan.



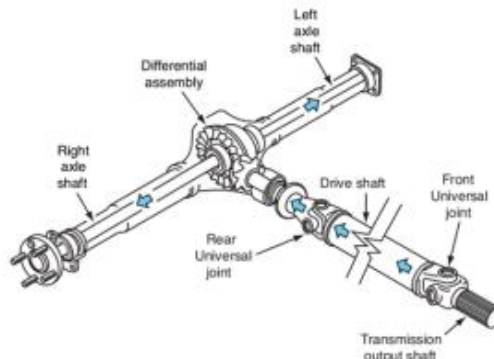
Gambar 2.4 *Drive Shaft Assembly [5]*

Terdapat dua hal yang harus diperhitungkan dalam membuat drive shaft, yaitu: mesin dan transmisi terpasang pada frame kendaraan dan rear axle housing, dengan roda dan differential yang terpasang pada frame oleh pegas. Pada saat roda belakang mengalami dinamika yang diakibatkan oleh kontur jalan, maka pegas akan mengalami tekanan dan regangan. Perubahan sudut ini juga dialami oleh driveline antara transmisi dan rear axle housing. Selain itu juga terjadi perubahan jarak antara transmisi dan differential.

Untuk mengantisipasi perubahan-perubahan tersebut, drive shaft, dilengkapi dengan dua atau lebih universal joint yang mampu menerima sudut operasi dalam berbagai nilai. Sebuah drive shaft merupakan perpanjangan dari poros output transmisi, yang berfungsi untuk memindahkan torsi dari transmisi menuju drive axle. Sebagai sebuah tabung, drive shaft memiliki nilai frekuensi getaran yang mencapai nilai natural pada saat kecepatan kritis. Kecepatan kritis ini bergantung pada seberapa besar diameter dan panjang dari drive shaft. Oleh karena itu sebuah drive shaft dibuat dengan ukuran diameter sebesar mungkin, dengan ukuran panjang yang sekecil mungkin, sehingga kecepatan kritis yang dimiliki oleh drive shaft berada di atas kecepatan berkendara. Sedangkan untuk mengatasi masalah keseimbangan putaran drive shaft, digunakan balance weights. Terdapat tiga jenis drive shafts, yaitu:



Gambar 2.5 *Balance weight of a driveshaft* [5]



Gambar 2.6 *Power Transmission* [5]

2.6 Pengujian puntir

Pengujian puntir merupakan suatu pembebanan yang penting. Sebagai contoh, kekuatan puntir menjadi permasalahan pada poros-poros, karena elemen deformasi plastik secara teori adalah slip (geseran) pada bidang slip, modulus kekakuan adalah konstanta yang penting, yang diperoleh dari pengujian puntir (dalam banyak kasus). Deformasi puntiran tidak menunjukkan tegangan *uniform* pada potongan lintang seperti halnya pada deformasi lenturan. Untuk mendapat deformasi puntiran dengan tegangan yang *uniform* perlu dipergunakan batang uji berupa silinder tipis.

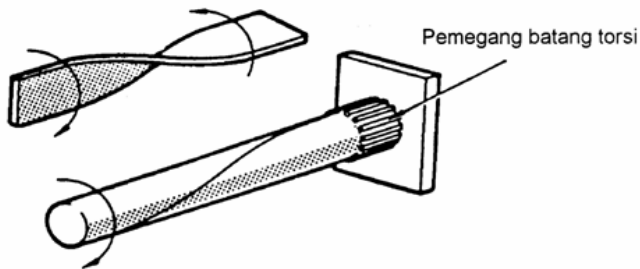
Patahan karena puntiran dari bahan getas terlihat pada arah kekuatan tarik, yaitu pada 45^0 terhadap sumber puntiran, sedangkan bagi bahan yang liat patahan terjadi pada sudut tegak lurus terhadap sumbu puntiran setelah gaya pada arah sumbu terjadi dengan deformasi yang besar, dari hal tersebut sangat mudah menentukan keliatan dan kegetasan.

2.6.1 Puntiran Poros Berpenampang Lingkaran

Akibat puntiran murni pada poros berpenampang lingkaran adalah timbulnya tegangan geser murni dalam bahan. Bila poros dibagi menjadi dua bagian oleh bidang transversal khayal, akan terlihat bahwa permukaan-permukaan pada kedua pihak dari bidang ini cenderung berputar, relatif yang dianggap terdiri dari lapisan-lapisan tipis transversal yang jumlahnya tak terhingga, masing-masing relatif berputar sedikit terhadap lapisan berikutnya bila torsi diberikan, akibatnya poros akan terpuntir. Pergerakan angular salah satu ujung relatif terhadap yang lain disebut sudut puntiran.

Tegangan puntir disebabkan oleh momen puntir yang bekerja pada penampang batang. Dalam menganalisa tegangan puntir, momen torsi yang biasanya dinyatakan dalam vektor rotasi diubah menjadi vektor translasi dengan menggunakan

aturan tangan kanan. Lipatan jari tangan menunjukkan arah vektor rotasi dan jari jempol menunjukkan vektor translasi. Seperti halnya gaya aksial, tegangan puntir muncul (momen puntir ada) bila batang tersebut dipotong. Metode irisan tetap digunakan untuk mendapatkan momen puntir dalam, sehingga tegangan puntir dapat dicari. Momen puntir dalam ini yang akan mengimbangi momen puntir luar sehingga bagian struktur tetap dalam kondisi seimbang.



Gambar 2.7 Poros yang mengalami puntiran [10]

Untuk mencari hubungan antara momen puntir dalam dengan tegangan pada penampang batang bulat, perlu dibuatkan asumsi sebagai berikut :

- Potongan normal tetap di bidang datar sebelum maupun sesudah puntiran.
- Regangan geser berbanding lurus terhadap sumbu pusat.
- Potongan normal tetap berbentuk bulat selama puntiran.
- Batang dibebani momen puntir dalam bidang tegak lurus sumbu batang.
- Tegangan puntir tidak melebihi batas proporsional.
- Tegangan geser berubah sebanding dengan regangan linear.

Berdasarkan asumsi yang diambil (butir 2 dan 6) maka tegangan geser maksimum terletak pada keliling penampang sehingga dapat dicari hubungan antara tegangan geser dengan jarak terhadap sumbu pusat. Gaya geser inilah nantinya akan mengantisipasi momen torsi luar.

Besar momen inersia polar dari luas penampang, yang dinotasikan sebagai I_p , sehingga:

$$I_p = \frac{1}{32} \pi D^4$$

Besarnya tegangan secara umum:

$$\tau = \frac{T c}{I_p}$$

Dimana :

τ = tegangan geser (N/mm²)

I_p = Momen inersia polar penampang luas (Nmm)

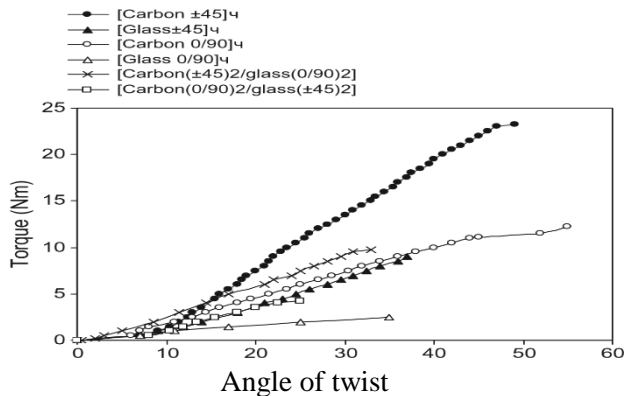
c = jari-jari lingkaran (mm)

Dalam mendesain bagian-bagian struktur yang menyangkut kekuatan, maka tegangan geser yang memenuhi syaratlah yang dipilih. Karena batang yang mengalami puntiran sering dipakai untuk meneruskan gaya, maka percobaan puntiran pada batang sering dilakukan.

2.7 Kajian Pustaka

Pada sub bab ini akan ditampilkan beberapa hasil penelitian-penelitian terdahulu yang dijadikan dasar pertimbangan dan sumber referensi dalam melakukan penelitian tugas akhir ini.

Pada tahun 2010, *Mechanical and Industrial Engineering Department, College of Engineering, Qatar University* oleh M.A. Badie, E. Mahdi, A.M.S. Harmouda [2], melakukan penelitian yang berjudul “*An investigation into hybrid carbon/glass fiber reinforced epoxy composite automotive drive shaft*”. Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh sudut orientasi serat dan sudut puntiran pada kekakuan torsional, frekuensi alami, kekuatan tekuk, umur kelelahan dan mode kegagalan dari tabung komposit.



Gambar 2.8 Grafik Pencapaian Torsi Dari Sudut Puntiran dan Orientasi Serat [2]

Dari penelitian yang dilakukan disimpulkan bahwa:

1. Pengaruh dari segi frekuensi alami, susunan urutan dari lapisan tidak berpengaruh pada frekuensi alami karena tidak ada beban yang diterapkan. Akan tetapi dengan meningkatnya beban, frekuensi alami akan menurun dengan sudut deviasi 0,78%.
2. Pengaruh dari segi kekuatan tekuk, untuk meningkatkan torsi tekuk, modulus pada arah melingkar harus ditingkatkan dengan orientasi serat mendekati sudut 90.

Mengubah sudut orientasi serat dari satu atau lebih lapisan mungkin tidak memberikan proporsionalitas torsi tekuk terhadap peningkatan sudut. Hal ini terkait dengan efek dari modulus sepanjang arah aksial (E_x) dan modulus pada arah melingkar (E_h) sebagai hasil sebelumnya yang memiliki nilai maksimum pada sudut 0 dan kemudian di sudut 90. Hasil terbaik didapatkan pada sudut 90 dan terburuk pada sudut 40. Dari 15 urutan susunan yang berbeda dianalisis dalam penelitian ini, susunan terburuk yaitu hilangnya 46,07% torsi tekuk kritis ketika susunan terbaik diterapkan.

3. Pengaruh dari segi ketahanan lelah, susunan terbaik adalah untuk menemukan ± 45 lapisan orientasi serat sudut bersama-sama dan jauh dekatnya jarak menuju bagian dalam tabung torsi.
4. Pengaruh dari segi kekakuan torsional dan mode kegagalan, didapatkan bahwa sudut terbaik dari orientasi serat untuk kekakuan torsional ini yaitu sudut 45. Dalam *hybrid, carbon/glass fabric* menghasilkan mode kegagalan yang terjadi yaitu $[\pm 45]$ bentuk.

Pada tahun 2011, *Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin Makassar* oleh Fauzan[3] melakukan penelitian yang berjudul “*Analisis Karakteristik Drive Shaft Automobil Berbahan Komposit Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga*” . Pada penelitian ini bertujuan membandingkan membandingkan driveshaft konvensional berbahan baja dua batang dan berbahan komposit dengan satu batang. Penentuan karakteristik statik dan dinamis dari bahan komposit yakni hibryd aluminium fiber glass dengan menggunakan metode elemen hingga berbasis metode elemen hingga. Parameter perancangan mempertimbangkan pengurangan berat dan peningkatan kinerja dari drive shaft dengan menghitung.

Tabel 2.2 Hasil Perbandingan Jumlah Layer dan Torsi Maksimum[3]

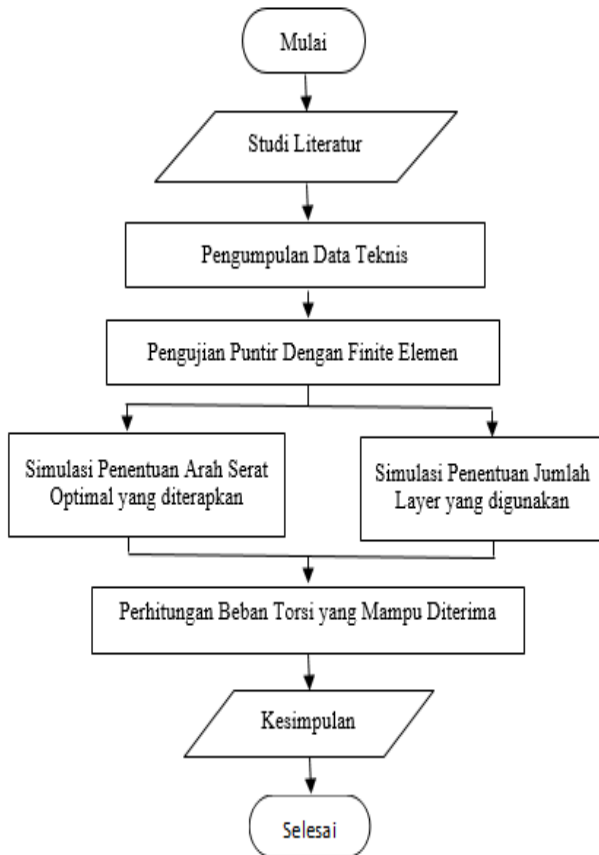
| Jumlah <i>Layer</i> | <i>Torsi</i> Maksimum (N/m) |
|---------------------|--------------------------------|
| 2 | 50 |
| 4 | 130 |
| 6 | 170 |

Dari gambar hasil pengujian ini diperoleh hasil torsi statik maksimum dari poros *hybrid alumunium fibre glass* akan meningkat dengan bertambahnya jumlah lapisan (*layer*).

BAB 3

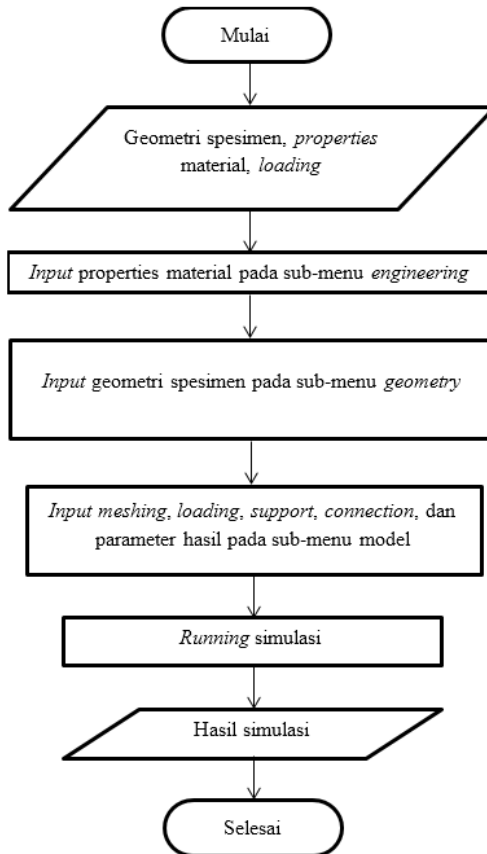
METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



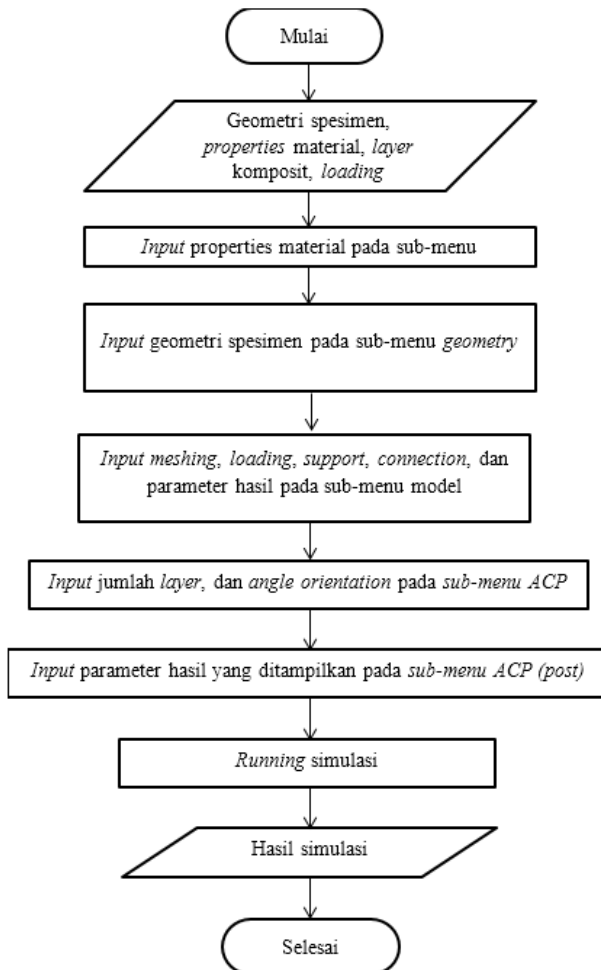
Gambar 3.1 Skema Diagram Alir Penelitian.

3.1.1 Diagram Alir Simulasi Poros Baja *SM45C* (*Solid*)



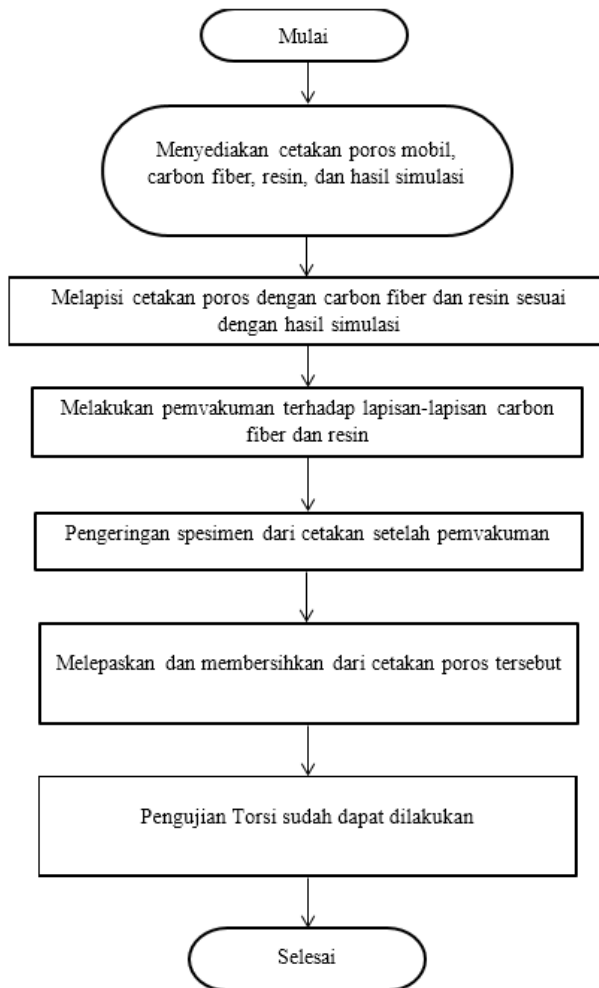
Gambar 3.2 Skema Diagram Alir Simulasi Poros Baja *SM45C* (*Solid*)

3.1.2 Diagram Alir Simulasi *Epoxy Carbon Fiber (Hollow)*



Gambar 3.3 Skema Diagram Alir Simulasi *Epoxy Carbon Fiber (Hollow)*

3.1.3 Diagram Alir Eksperimental



Gambar 3.4 Skema Diagram Alir Eksperimental

3.2 Metodologi Penelitian

3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengetahui dasar teori mengenai informasi yang berkaitan dengan penelitian. Dasar teori berkaitan dengan :

1. Komposit

Dasar teori mengenai definisi komposit, komponen-komponen penyusunnya yaitu matriks dan penguat serta penjelasan secara detail untuk aspek tertentu yang berkaitan dengan penelitian.

2. Shaft

Penjelasan mengenai shaft, fungsi dan standar pengujian yang digunakan untuk mengetahui kemampuan shaft menghasilkan beban puntir.

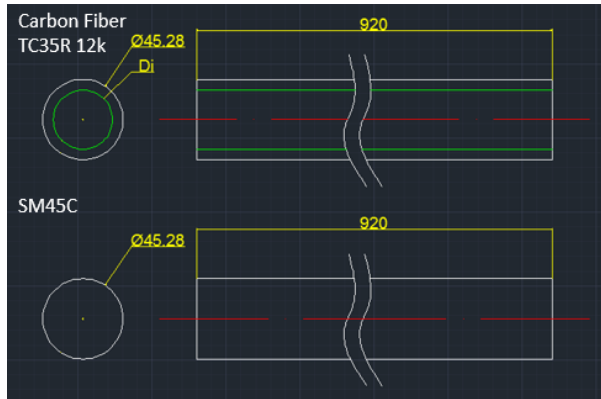
3. Carbon Fiber

Dasar teori mengenai definisi *carbon fiber* dan *properties* yang dimilikinya.

Kajian pustaka berisi penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang berkaitan dengan shaft kendaraan. Khususnya pengujian untuk meninjau kemampuan suatu material untuk menghasilkan beban puntir jika dibandingkan dengan material yang sudah ada dengan berat yang lebih ringan.

3.2.2 Desain Shaft

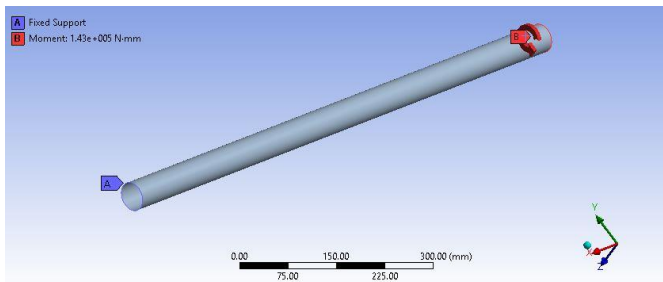
Desain digambar sesuai dengan ukuran representatif shaft kendaraan. Kendaraan yang dipilih adalah jenis sedan. Desain yang digunakan memiliki variasi diameter sebesar 45,28 mm dan panjang 920 mm.



Gambar 3.5 Dimensi *Shaft* Kendaraan

3.2.3 Simulasi Penentuan Arah Serat Optimal dan Jumlah Layer yang Digunakan

Untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam penggunaan komposit berpenguat serat, peletakan arah serat merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kemampuan material komposit. Simulasi pengujian dilakukan dengan software finite element. Simulasi menggunakan analisa Static Structural untuk komposit. Material yang dipakai adalah epoxy resin dengan penguat *carbon fiber*. Variasi arah serat yang diterapkan adalah -45° atau 45° serta 0° atau 90° dalam 1 *layer carbon fiber*.



Gambar 3.6 Layout bentuk 3D pada proses simulasi pada software finite element

Simulasi terdiri dari beberapa tahap yaitu :

1) Proses penentuan geometri benda

Geometri benda yang telah di desain menggunakan software gambar 3D di import ke dalam software finite element. Untuk kasus simulasi komposit dengan epoxy sebagai matriks ditambah carbon fibre sebagai penguat geometri harus dalam bentuk surface.

2) Proses Modelling

Proses ini terdiri dari pengaturan ketebalan geometri, *meshing*, *connections*, penentuan daerah peletakkan material dan pengaturan kondisi yang diinginkan. Pengaturan kondisi untuk static structural dilakukan dengan menentukan daerah *fixed support* dan memberikan pembebanan yang diinginkan berupa besaran angka dan arah pembebanan.

3) Proses Pengaturan dan Peletakkan Material

Proses ini terdiri dari memasukkan data properti material, mengatur ketebalan dan arah serat lamina (0° atau 45°), mengatur daerah peletakkan lamina dan terakhir memodelkannya dalam bentuk 3D.

4) Proses Running dan Hasil Simulasi.

Proses pemilihan data yang akan dihasilkan. Untuk simulasi ini dipilih tegangan maksimal yang terjadi (*Von Mises Equivalent Stress*), deformasi total dan Proses simulasi dilakukan dengan melakukan *solve* untuk pengkondisian yang sudah ditetapkan.

3.3 Pengujian Eksperimen

3.3.1 Alat dan Bahan

3.3.1.1 Alat

1. Mesin Uji Torsi (Kunci Torsi)
2. Alat Bantu : Gerinda, Gunting, Kuas, Sumpit dan *Cutter*

3. Alat Ukur : Mistar, Jangka Sorong dan Timbangan
4. Alat Keselamatan : Sarung tangan dan Masker

3.3.1.2 Bahan

1. *Carbon Fiber TC35-12K*
2. *Resin Epoxy dan Hardener*
3. *Adhesive Spray*
4. *PVA (Polyvinyl Alcohol)*
5. *Thinner*

3.3.2 Langkah – langkah Percobaan

3.3.2.1 Pembuatan Spesimen Uji

Spesimen uji yang digunakan pada percobaan ini menggunakan *resin epoxy* dan *Carbon fiber TC35-12K* dengan memperhatikan variasi arah dan jumlah *layer*. Adapun rencana proses pembuatan komposit sebagai berikut:

1. *Shaft* berbentuk silinder *hollow* dengan ukuran sesuai dengan dimensi ukuran *shaft Honda Genio 1994* disediakan sebagai cetakan eksperimen.
2. *Carbon fiber TC35-12K* dipotong dengan ukuran yang sesuai dengan ukuran dimensi silinder *hollow*.
3. Cetakan berupa *neon* dioleskan cairan *PVA* hingga 45 menit agar cetakan mudah untuk dilepas atau tidak menempel dengan lapisan dari *carbon fiber*.
4. *Shaft* berbentuk silinder *hollow* dilapisi dengan *carbon fiber*.
5. Kemudian *resin* dioleskan diatas lapisan *carbon fiber*.
6. Proses nomor 4 diulangi hingga mendapatkan konfigurasi sesuai dengan hasil simulasi dan kemudian *plastic wrap*

diperlukan untuk menjaga agar kontur dari *Carbon Fiber* tidak berubah sesuai bentuk yang diinginkan.

7. Lapisan *carbon fiber* dan *resin* yang telah tersusun di atas cetakan silinder *hollow* kemudian dilapisi dengan *plastic vacuum bag* agar cetakan mendapatkan kondisi *vakum* selama proses pengeringan.
8. Didiamkan kurang lebih satu hari satu malam untuk menunggu proses pengeringan dari cetakan.
9. Pengeringan dan proses vakum selesai, kemudian diketuk dengan palu hingga *neon* didalamnya pecah dan lapisan bersih dari cetakan.
10. Pengamplasan hingga halus hingga *plastic wrap* dan *resin* yang menggumpal sudah tidak timbul lagi di permukaan *shaft*.
11. *Carbon Fiber shaft* siap untuk dilakukan pengujian.

3.3.2.2 Pengujian Torsi

Pengujian spesimen uji torsi berdasarkan standar ASTM E 143. Langkah-langkah pengujian yang akan dilakukan sebagai berikut:

1. Dimensi dari *shaft carbon fiber* dan harga kekerasan awal diukur
2. Beban momen puntir dipilih yang sesuai pada mesin uji puntir
3. Kecepatan puntiran dan kecepatan kertas disesuaikan
4. *Shaft carbon fiber* diletakkan pada mesin uji puntir dan pastikan *shaft carbon fiber* terpasang dengan kuat

5. Spesimen diberikan tanda dengan tinta atau tip-ex
6. Mesin uji punter dijalankan
7. Saat spesimen patah, specimen dilepaskan dari mesin uji puntir
8. Spesimen hasil pengujian diukur diameter di tempat patahan dan daerah elastisnya

3.3.3 Hasil yang Diharapkan

Dari data yang diperoleh dari simulasi diharapkan dapat mengetahui apakah material *epoxy* dengan penguat *carbon fiber* ini dapat diaplikasikan sebagai *shaft* kendaraan dan kuat untuk menerima beban puntir yang terjadi pada kendaraan. Serta dapat diketahui tegangan maksimal dan total deformasi yang terjadi.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Spesifikasi Geometris *Shaft*

Tabel 4.1 Spesifikasi Geometri *Shaft SM45C* dan *Carbon Fiber*

| Layer | Do (mm) | Di (mm) | Volume (cc) | Berat (kg) |
|--------------|------------|------------|----------------|---------------|
| SM45C | 45.28 | 0 | 1482.058 | 11.259 |
| 1 | 45.28 | 43.68 | 102.889 | 0.149 |
| 2 | 45.28 | 42.08 | 202.076 | 0.293 |
| 3 | 45.28 | 40.48 | 297.563 | 0.431 |
| 4 | 45.28 | 38.88 | 389.348 | 0.565 |
| 5 | 45.28 | 37.28 | 477.433 | 0.692 |
| 6 | 45.28 | 35.68 | 561.816 | 0.815 |
| 7 | 45.28 | 34.08 | 642.499 | 0.932 |
| 8 | 45.28 | 32.48 | 719.480 | 1.043 |
| 9 | 45.28 | 30.88 | 792.760 | 1.150 |
| 10 | 45.28 | 29.28 | 862.340 | 1.250 |
| 11 | 45.28 | 27.68 | 928.218 | 1.346 |
| 12 | 45.28 | 26.08 | 990.395 | 1.436 |
| 13 | 45.28 | 24.48 | 1048.871 | 1.521 |
| 14 | 45.28 | 22.88 | 1103.647 | 1.600 |
| 15 | 45.28 | 21.28 | 1154.721 | 1.674 |

4.2 Hasil Simulasi

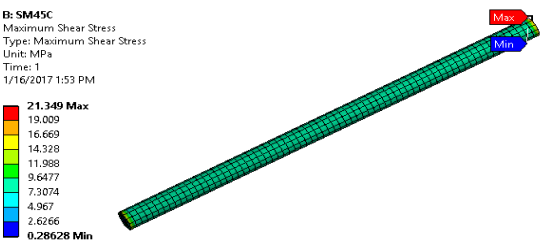
Simulasi dilakukan untuk mendapatkan konfigurasi jumlah *layer* dan arah serat dari *shaft*. Langkah pertama dilakukan simulasi terhadap *shaft* yang terbuat dari SM45C. Hasil simulasi dari SM45C ini dibandingkan dengan hasil simulasi *shaft* yang terbuat dari *Carbon Fiber TC35R 12k*. Proses Simulasi dimulai dengan variasi jumlah *layer*. Setelah ditemukan jumlah *layer* optimal tersebut, kemudian menentukan orientasi serat yang terbaik dengan model yang berbeda-beda. Sehingga menemukan angka terbaik untuk jumlah *layer* dan dapat diterapkan dengan orientasi serat yang terbaik juga.

4.2.1 *Shaft SM45C*

Shaft SM45C adalah salah satu jenis dari steel yang diaplikasikan pada *shaft* mobil. Berikut terlampir adalah hasil simulasi dari *shaft* yang berbentuk pejal ini yang diterapkan pada *propeller shaft*.

Tabel 4.2 Hasil Simulasi *Shaft SM45C*

| Kriteria | Hasil Simulasi |
|------------------------------|----------------|
| Total Deformation (mm) | 0.092085 |
| Equivalent Stress (mPa) | 36.978 |
| Shear Stress (mPa) | 21.349 |
| Angle of Twist (Deg) | 2.2932 |
| Torsional Stiffness (Nm/Deg) | 62.356 |



Gambar 4.3 *Maximum Shear Stress SM45C*

4.2.2 *Shaft Carbon Fiber (Variasi Jumlah Layer)*

Simulasi yang dilakukan untuk mendapatkan variasi jumlah *layer* pada *shaft* carbon fiber TC35R 12k. Data yang berpengaruh dan diambil meliputi *Angle of Twist*, *Torsional Stiffness* dan *Shear Stress*.

4.2.2.1 *Angle of Twist*

Setelah dilakukan simulasi menggunakan *software finite element* terkait variasi jumlah layer tersebut. Didapatkan salah satu hasil yang berpengaruh terhadap deformasi atau puntiran yang terjadi pada *shaft*, yaitu *Angle of Twist*. *Angle of Twist* didapatkan dari persamaan berikut.

$$\theta = TL/JG$$

Dimana T adalah Torsi, L adalah Panjang *shaft*, J adalah Momen Inersia Polar dan G adalah Modulus Shear.

$$J = \frac{\pi}{32} d^4 \text{ (Solid Shaft)}$$

$$J = \frac{\pi}{32} (d_o^4 - d_i^4) \text{ (Hollow Shaft)}$$

Dimana d_o adalah diameter luar dan d_i adalah diameter dalam dari *shaft*

Tabel 4.3 Hasil Simulasi (Jumlah *Layer*) *Angle of Twist Shaft Carbon Fiber*

| Layer | Do (mm) | Di (mm) | Angle of Twist (Deg) |
|-------|---------|---------|----------------------|
| SM45C | 45.28 | 0 | 2.293 |
| 1 | 45.28 | 43.68 | 10.0907 |
| 2 | 45.28 | 42.08 | 5.3222 |
| 3 | 45.28 | 40.48 | 3.7438 |
| 4 | 45.28 | 38.88 | 2.9632 |
| 5 | 45.28 | 37.28 | 2.5021 |
| 6 | 45.28 | 35.68 | 2.201 |
| 7 | 45.28 | 34.08 | 1.9914 |
| 8 | 45.28 | 32.48 | 1.8394 |
| 9 | 45.28 | 30.88 | 1.7257 |
| 10 | 45.28 | 29.28 | 1.6389 |
| 11 | 45.28 | 27.68 | 1.5719 |
| 12 | 45.28 | 26.08 | 1.5196 |

| | | | |
|-----------|-------|-------|--------|
| 13 | 45.28 | 24.48 | 1.4787 |
| 14 | 45.28 | 22.88 | 1.4467 |
| 15 | 45.28 | 21.28 | 1.4217 |

4.2.2.2 *Torsional Stiffness*

Setelah dilakukan simulasi menggunakan *software finite element* terkait variasi jumlah layer tersebut. Didapatkan salah satu hasil yang berpengaruh terhadap deformasi atau puntiran yang terjadi pada *shaft*, yaitu *Torsional Stiffness*. *Torsional Stiffness* didapatkan dari persamaan berikut.

$$K = T / \theta$$

Dimana T adalah Torsi dan θ adalah *Angle of Twist*

Tabel 4.4 Hasil Simulasi (Jumlah *Layer*) *Torsional Stiffness Shaft Carbon Fiber*

| Layer | Do (mm) | Di (mm) | Torsional Stiffness (Nm/Deg) |
|--------------|--------------------|--------------------|---|
| SM45C | 45.28 | 0 | 62.3569 |
| 1 | 45.28 | 43.68 | 14.1713 |
| 2 | 45.28 | 42.08 | 26.8681 |
| 3 | 45.28 | 40.48 | 38.1963 |
| 4 | 45.28 | 38.88 | 48.2579 |
| 5 | 45.28 | 37.28 | 57.1512 |
| 6 | 45.28 | 35.68 | 64.9702 |
| 7 | 45.28 | 34.08 | 71.8051 |
| 8 | 45.28 | 32.48 | 77.7423 |
| 9 | 45.28 | 30.88 | 82.8639 |
| 10 | 45.28 | 29.28 | 87.2484 |
| 11 | 45.28 | 27.68 | 90.9701 |
| 12 | 45.28 | 26.08 | 94.0994 |

| | | | |
|-----------|-------|-------|----------|
| 13 | 45.28 | 24.48 | 96.7029 |
| 14 | 45.28 | 22.88 | 98.8429 |
| 15 | 45.28 | 21.28 | 100.5781 |

4.2.2.3 *Maximum Shear Stress*

Setelah dilakukan simulasi menggunakan *software finite element* terkait variasi jumlah layer tersebut. Didapatkan salah satu hasil yang berpengaruh terhadap deformasi atau puntiran yang terjadi pada *shaft*, yaitu *Maximum Shear Stress*. *Maximum Shear Stress* didapatkan dari persamaan berikut.

$$\tau_{max} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$$

Dimana σ_1 adalah tegangan *principle* terbesar dan σ_3 adalah tegangan *principle* minimum

Tabel 4.5 Hasil Simulasi (Jumlah *Layer*) *Maximum Shear Stress Shaft Carbon Fiber*

| Layer | Do (mm) | Di (mm) | Maximum Shear Stress (MPa) |
|--------------|----------------|----------------|-----------------------------------|
| SM45C | 45.28 | 0 | 21.349 |
| 1 | 45.28 | 43.68 | 62.995 |
| 2 | 45.28 | 42.08 | 37.125 |
| 3 | 45.28 | 40.48 | 29.136 |
| 4 | 45.28 | 38.88 | 24.313 |
| 5 | 45.28 | 37.28 | 21.439 |
| 6 | 45.28 | 35.68 | 21.321 |
| 7 | 45.28 | 34.08 | 19.754 |
| 8 | 45.28 | 32.48 | 18.596 |
| 9 | 45.28 | 30.88 | 17.584 |
| 10 | 45.28 | 29.28 | 16.682 |
| 11 | 45.28 | 27.68 | 15.867 |
| 12 | 45.28 | 26.08 | 15.252 |

| | | | |
|-----------|-------|-------|--------|
| 13 | 45.28 | 24.48 | 14.764 |
| 14 | 45.28 | 22.88 | 14.349 |
| 15 | 45.28 | 21.28 | 13.989 |

L: 6 layer 0

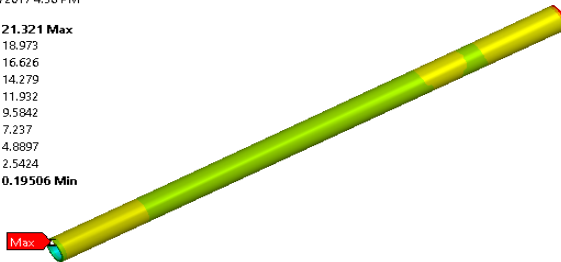
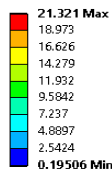
Maximum Shear Stress

Type: Maximum Shear Stress - Top/Bottom - Layer 0

Unit: MPa

Time: 1

1/16/2017 4:56 PM



Gambar 4.4 *Maximum Shear Stress Carbon Fiber (6 Layer 0°)*

4.2.3 *Shaft Carbon Fiber (Variasi Orientasi Serat)*

Simulasi yang dilakukan sudah mencapai angka yang masih lebih baik dibandingkan dengan Steel SM45C. Untuk mendapatkan angka yang lebih baik lagi, jumlah layer yang sudah aman tersebut dilakukan dengan mengolah variasi orientasi serat pada *shaft* carbon fiber TC35R 12k dengan beberapa model. Data yang berpengaruh dan diambil meliputi *Angle of Twist*, *Torsional Stiffness* dan *Shear Stress*.

4.2.3.1 *Angle Of Twist*

Setelah dilakukan simulasi menggunakan *software finite element* terkait variasi orientasi serat tersebut. Didapatkan salah satu hasil yang berpengaruh terhadap deformasi atau puntiran yang terjadi pada *shaft*, yaitu *Angle of Twist*.

Tabel 4.6 Hasil Simulasi (Orientasi Serat) *Angle of Twist Shaft Carbon Fiber*

| Tipe | Layer | | | | | | Do | T | Di | Angle of Twist |
|------|-------|----|----|----|----|----|-------|-----|-------|----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 45.28 | 143 | 35.68 | 2.201 |
| 2 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45.28 | 143 | 35.68 | 1.556 |
| 3 | 0 | 45 | 0 | 45 | 0 | 45 | 45.28 | 143 | 35.68 | 1.823 |
| 4 | 45 | 0 | 45 | 0 | 45 | 0 | 45.28 | 143 | 35.68 | 1.823 |
| 5 | 0 | 0 | 45 | 45 | 0 | 0 | 45.28 | 143 | 35.68 | 1.934 |
| 6 | 45 | 45 | 0 | 0 | 45 | 45 | 45.28 | 143 | 35.68 | 1.724 |
| 7 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | | 45.28 | 143 | 37.28 | 1.769 |

4.2.3.2 Torsional Stiffness

Setelah dilakukan simulasi menggunakan *software finite element* terkait variasi orientasi serat tersebut. Didapatkan salah satu hasil yang berpengaruh terhadap deformasi atau puntiran yang terjadi pada *shaft*, yaitu *Torsional Stiffness*.

Tabel 4.7 Hasil Simulasi (Orientasi Serat) *Torsional Stiffness Shaft Carbon Fiber*

| Tipe | Layer | | | | | | Do | T | Di | Torsional Stiffness |
|------|-------|----|----|----|----|----|-------|-----|-------|---------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 45.28 | 143 | 35.68 | 64.9702 |
| 2 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45.28 | 143 | 35.68 | 91.8775 |
| 3 | 0 | 45 | 0 | 45 | 0 | 45 | 45.28 | 143 | 35.68 | 78.4262 |
| 4 | 45 | 0 | 45 | 0 | 45 | 0 | 45.28 | 143 | 35.68 | 78.4262 |
| 5 | 0 | 0 | 45 | 45 | 0 | 0 | 45.28 | 143 | 35.68 | 73.9361 |
| 6 | 45 | 45 | 0 | 0 | 45 | 45 | 45.28 | 143 | 35.68 | 82.9068 |
| 7 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | | 45.28 | 143 | 37.28 | 80.8203 |

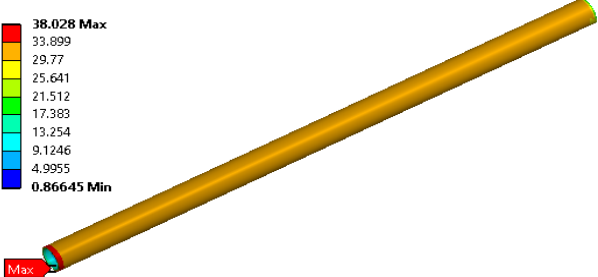
4.2.3.3 Maximum Shear Stress

Setelah dilakukan simulasi menggunakan *software finite element* terkait variasi orientasi serat tersebut. Didapatkan salah satu hasil yang berpengaruh terhadap deformasi atau puntiran yang terjadi pada *shaft*, yaitu *Maximum Shear Stress*.

Tabel 4.8 Hasil Simulasi (Orientasi Serat) *Maximum Shear Stress Shaft Carbon Fiber*

| Tipe | Layer | | | | | | Do | T | Di | Maximum Shear Stress |
|------|-------|----|----|----|----|----|-------|-----|-------|----------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 45.28 | 143 | 35.68 | 21.321 |
| 2 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45.28 | 143 | 35.68 | 33.978 |
| 3 | 0 | 45 | 0 | 45 | 0 | 45 | 45.28 | 143 | 35.68 | 28.925 |
| 4 | 45 | 0 | 45 | 0 | 45 | 0 | 45.28 | 143 | 35.68 | 52.964 |
| 5 | 0 | 0 | 45 | 45 | 0 | 0 | 45.28 | 143 | 35.68 | 15.32 |
| 6 | 45 | 45 | 0 | 0 | 45 | 45 | 45.28 | 143 | 35.68 | 40.195 |
| 7 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | | 45.28 | 143 | 37.28 | 38.028 |

BB: 5 layer type 7
Maximum Shear Stress
Type: Maximum Shear Stress - Top/Bottom - Layer 0
Unit: MPa
Time: 1
1/16/2017 4:59 PM

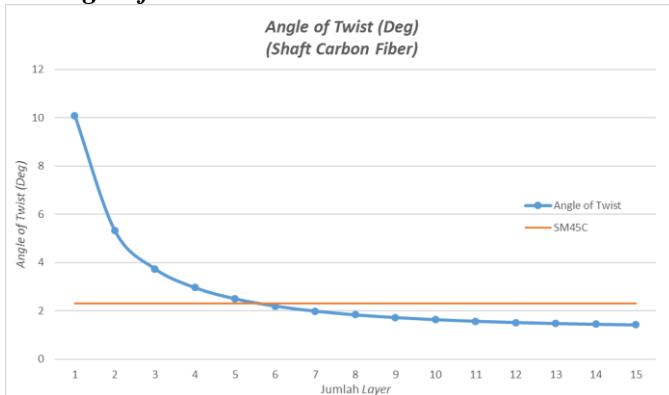


Gambar 4.5 *Maximum Shear Stress Carbon Fiber (5 Layer 45°)*

4.3 Pembahasan

4.3.1 Variasi Jumlah *Layer*

4.3.1.1 *Angle of Twist*



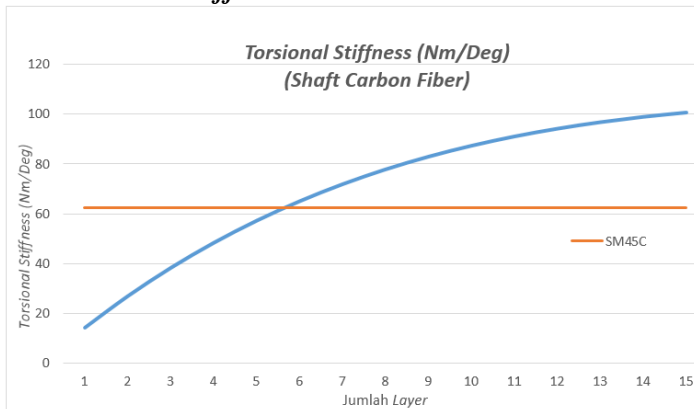
Gambar 4.6 Grafik pengaruh jumlah *Layer* terhadap *Angle of Twist*

Setelah dilakukan simulasi *shaft* menggunakan material *carbon fiber TC35R 12k* dan *epoxy resin*, mulai dari ketebalan 1 hingga 15 *layer* didapatkan hasil sebagaimana terlampir pada gambar 4.6. Gambar 4.6 menunjukkan hubungan antara *Angle of Twist* dengan jumlah *layer*. Besarnya *Angle of Twist* menurun seiring dengan ditambahkan jumlah *layer*. Semakin banyak *layer* yang digunakan, perubahan *Angle of Twist* semakin kecil dibandingkan sebelumnya.

Mengacu pada *shaft* dengan material SM45C, *shaft Carbon Fiber* lebih baik dari SM45C jika memiliki nilai *Angle of Twist* yang lebih rendah. Mulai *shaft* dengan ketebalan 6 *layer*, hingga 15 *layer*, *shaft Carbon Fiber* sudah memiliki *Angle of Twist* yang lebih rendah dari SM45C.

Dengan memperhatikan massa *shaft* – *shaft* yang telah memenuhi kriteria, SM45C, dipilih *shaft Carbon fiber* dengan ketebalan 6 *layer*. Mengingat *shaft* 6 *layer* memiliki massa terkecil dengan kriteria yang masih lebih baik dibandingkan SM45C dari segi *Angle of Twist*.

4.3.1.2 Torsional Stiffness



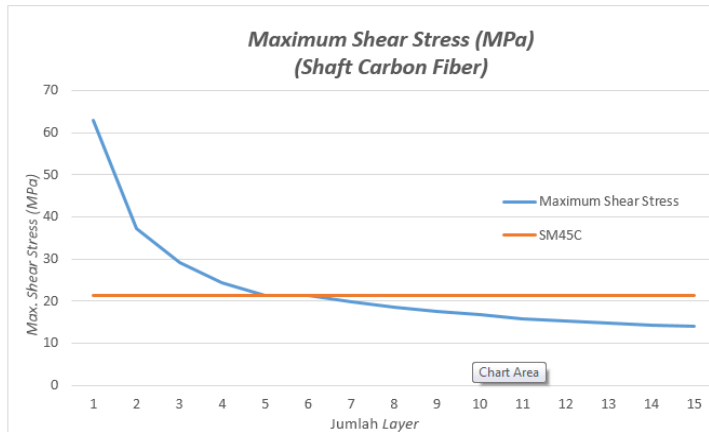
Gambar 4.7 Grafik pengaruh jumlah *Layer* terhadap *Torsional Stiffness*

Setelah dilakukan simulasi *shaft* menggunakan material *carbon fiber TC35R 12k* dan *epoxy resin*, mulai dari ketebalan 1 hingga 15 *layer* didapatkan hasil sebagaimana terlampir pada gambar 4.6. Gambar 4.6 menunjukkan hubungan antara *Torsional Stiffness* dengan jumlah *layer*. Besarnya *Torsional Stiffness* meningkat seiring dengan ditambahnya jumlah *layer*. Semakin banyak *layer* yang digunakan, perubahan *Torsional Stiffness* semakin besar dibandingkan sebelumnya.

Mengacu pada *shaft* dengan material SM45C, *shaft Carbon Fiber* lebih baik dari SM45C jika memiliki nilai *Torsional Stiffness* yang lebih tinggi. Mulai *shaft* dengan ketebalan 6 *layer*, hingga 15 *layer*, *shaft Carbon Fiber* sudah memiliki *Torsional Stiffness* yang lebih tinggi dari SM45C.

Dengan memperhatikan massa *shaft* – *shaft* yang telah memenuhi kriteria, SM45C, dipilih *shaft Carbon fiber* dengan ketebalan 6 *layer*. Mengingat *shaft* 6 *layer* memiliki massa terkecil dengan kriteria yang masih lebih baik dibandingkan SM45C dari segi *Torsional Stiffness*.

4.3.1.3 Maximum Shear Stress



Gambar 4.8 Grafik pengaruh jumlah *Layer* terhadap *Maximum Shear Stress*

Setelah dilakukan simulasi *shaft* menggunakan material *carbon fiber TC35R 12k* dan *epoxy resin*, mulai dari ketebalan 1 hingga 15 *layer* didapatkan hasil sebagaimana terlampir pada gambar 4.6. Gambar 4.6 menunjukkan hubungan antara *Maximum Shear Stress* dengan jumlah *layer*. Besarnya *Maximum Shear Stress* menurun seiring dengan ditambahkan jumlah *layer*. Semakin banyak *layer* yang digunakan, perubahan *Maximum Shear Stress* semakin kecil dibandingkan sebelumnya.

Mengacu pada *shaft* dengan material SM45C, *shaft Carbon Fiber* lebih baik dari SM45C jika memiliki nilai *Maximum Shear Stress* yang lebih rendah. Mulai *shaft* dengan ketebalan 6 *layer*, hingga 15 *layer*, *shaft Carbon Fiber* sudah memiliki *Maximum Shear Stress* yang lebih rendah dari SM45C.

Dengan memperhatikan massa *shaft – shaft* yang telah memenuhi kriteria, SM45C, dipilih *shaft Carbon Fiber* dengan ketebalan 6 *layer*. Mengingat *shaft* 6 *layer* memiliki massa terkecil dengan kriteria yang masih lebih baik dibandingkan SM45C dari segi *Maximum Shear Stress*.

4.3.2 Variasi Orientasi Serat

Setelah dilakukan simulasi pada *shaft Carbon Fiber TC35R 12k* dengan memvariasikan jumlah *layer*nya, didapatkan jumlah *layer* yang telah memenuhi ketentuan dari spesifikasi SM45C. Simulasi tersebut menggunakan *Carbon Fiber* dengan orientasi serat 0° , mulai 1 layer hingga 15 layer. Didapatkan *shaft* yang terbuat dari *Carbon Fiber*, yang memenuhi ketentuan dari SM45C, dan memiliki berat paling ringan yaitu 6 *layer Carbon Fiber*.

Selanjutnya, dilakukan simulasi dengan memvariasikan masing-masing layer, dari 6 layer tersebut, dengan orientasi serat kombinasi antara 0° dan 45° . Kombinasi dan hasil dari simulasi variasi orientasi serat tercantum pada tabel 4.6 untuk *Angle of Twist*, tabel 4.7 untuk *Torsional Stiffness* dan tabel 4.8 untuk *Maximum Shear Stress*.

Dari simulasi didapatkan hasil bahwa orientasi serat 45° untuk keenam *layer* (tipe 2) memenuhi ketentuan dari SM45C dan memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan kombinasi yang lain.

Tabel 4.9 Hasil simulasi dan perhitungan variasi orientasi serat

| Tipe | Layer | | | | | | Total Deformation (mm) | Equivalent Stress (Mpa) | Shear Stress (Mpa) | Angle of Twist (Deg) | Torsional Stiffness (Nm/Deg) |
|-------|-------|----|----|----|----|----|------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | | |
| SM45C | | | | | | | 0.092085 | 35.978 | 21.349 | 2.29325008 | 62.35691479 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.8722 | 40.725 | 21.321 | 2.201007942 | 64.97023353 |
| 2 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 0.60887 | 58.853 | 33.978 | 1.556419633 | 91.87753543 |
| 3 | 0 | 45 | 0 | 45 | 0 | 45 | 1.2985 | 50.099 | 28.925 | 1.823368141 | 78.42629079 |
| 4 | 45 | 0 | 45 | 0 | 45 | 0 | 0.86721 | 91.737 | 52.964 | 1.823368141 | 78.42629079 |
| 5 | 0 | 0 | 45 | 45 | 0 | 0 | 1.7665 | 29.419 | 15.32 | 1.934101882 | 73.93612576 |
| 6 | 45 | 45 | 0 | 0 | 45 | 45 | 0.74309 | 69.62 | 40.195 | 1.724827725 | 82.9068306 |

4.3.3 Pengurangan Jumlah Layer

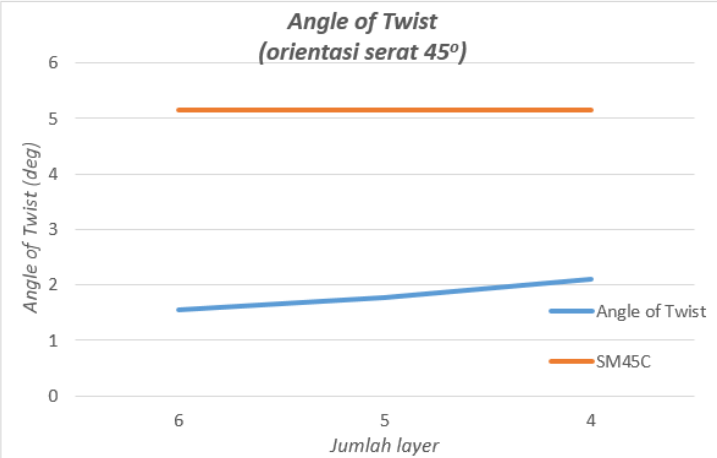
Setelah dilakukan simulasi 6 *layer shaft Carbon Fiber TC35R 12k* dengan memvariasikan orientasi serat pada *layernya*, didapatkan orientasi serat 45° untuk keenam *layernya* dimana hasil tersebut sudah memenuhi ketentuan dari spesifikasi SM45C.

Selanjutnya, dilakukan simulasi dengan mengurangi jumlah *layer* dengan tujuan mengurangi berat *shaft Carbon Fiber* ini agar lebih ringan akan tetapi menghasilkan torsi yang sama dengan SM45C. Adapun hasil simulasi tercantum pada tabel 4.6 untuk *Angle of Twist*, tabel 4.7 untuk *Torsional Stiffness* dan tabel 4.8 untuk *Maximum Shear Stress*.

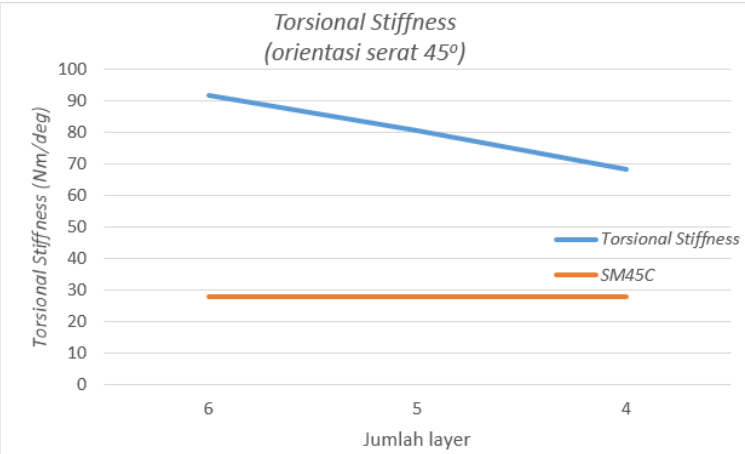
Dari simulasi didapatkan hasil bahwa shaft carbon dengan ketebalan 5 *layer* (tipe 7) dengan orientasi serat 45° masih memenuhi ketentuan dari spesifikasi SM45C dan secara otomatis akan mengurangi berat dari *shaft Carbon Fiber*.

Tabel 4.10 Hasil simulasi dan perhitungan pengurangan jumlah layer (orientasi 45°)

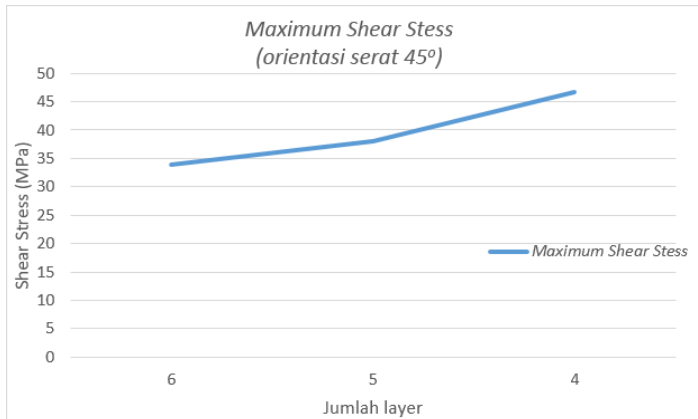
| Tipe | Layer | | | | | | Total Deformation (mm) | Equivalent Stress (Mpa) | Shear Stress (Mpa) | Angle of Twist (Deg) | Torsional Stiffness (Nm/Deg) |
|------|-------|----|----|----|----|----|------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | | |
| 2 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 0.60887 | 58.853 | 33.978 | 1.556419633 | 91.87753543 |
| 7 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | - | 0.69923 | 65.867 | 38.028 | 1.769357139 | 80.82031424 |
| 8 | 45 | 45 | 45 | 45 | - | - | 0.89647 | 80.817 | 46.66 | 2.095423884 | 68.24394867 |



Gambar 4.9 Grafik *Angle of Twist Shaft Carbon Fiber orientasi serat 45°*

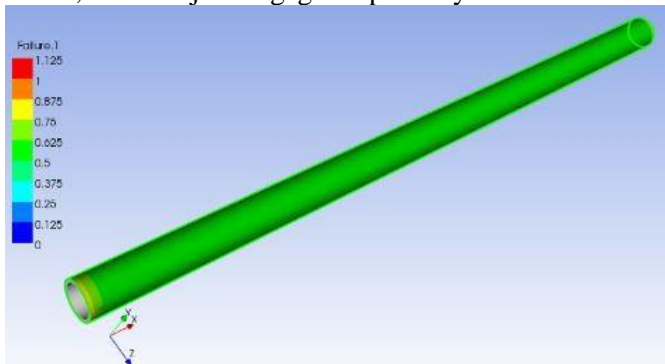


Gambar 4.10 Grafik *Torsional Stiffness Shaft Carbon Fiber orientasi serat 45°*

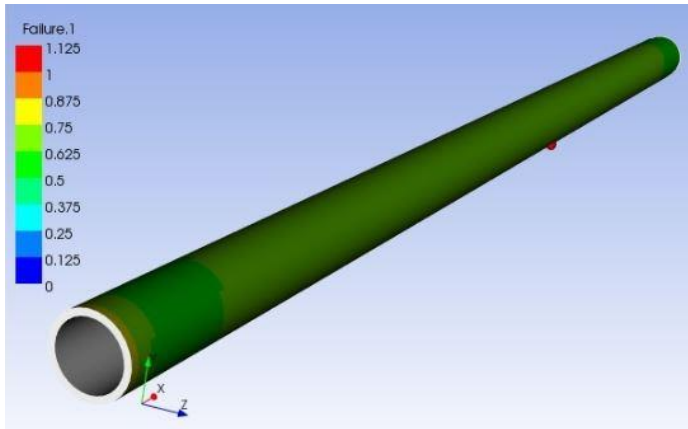


Gambar 4.11 Grafik *Maximum Shear Stress Shaft Carbon fiber* orientasi serat 45°

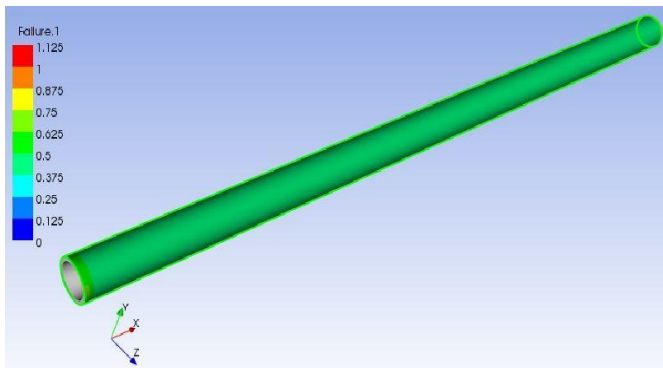
Untuk memvalidasi hasil yang didapatkan berupa *shaft carbon fiber* dengan orientasi serat 45° sebanyak 5 layer, dilakukan simulasi Tsai - Hill. Tsai - Hill bertujuan untuk mengetahui kondisi *shaft* pada masing-masing layer. Pada setiap layer, *shaft carbon fiber* ini memiliki nilai tegangan yang berbeda. Kegagalan pada *shaft* akibat torsi ditunjukkan dengan adanya skala kegagalan. Bila skala kegagalan yang dimiliki oleh layer melebihi 1, maka terjadi kegagalan pada layer tersebut.



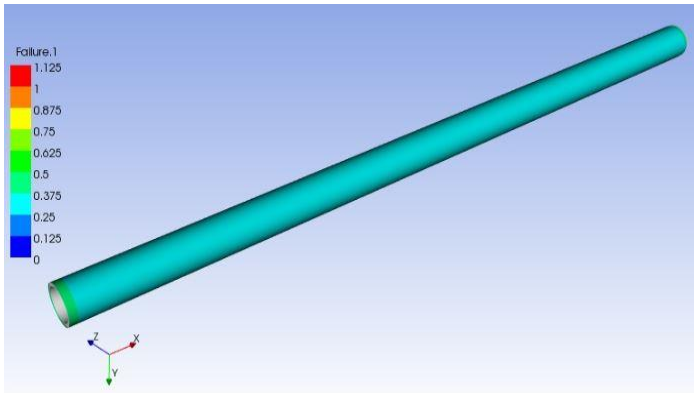
Gambar 4.12 Tsai - Hill *layer 1 (layer pertama terluar)* orientasi serat 45°



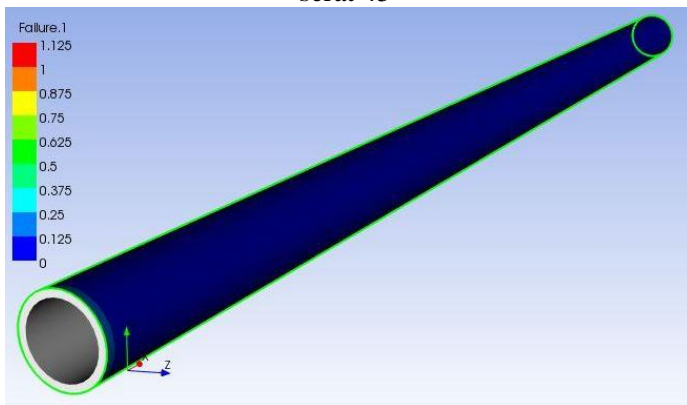
Gambar 4.13 Tsai - Hill *layer 2* (*layer* kedua terluar) dengan orientasi serat 45°



Gambar 4.14 Tsai - Hill *layer 3* (*layer* ketiga tengah) orientasi serat 45°



Gambar 4.15 Tsai - Hill *layer 4* (*layer* kedua terdalam) orientasi serat 45°



Gambar 4.16 Tsai - Hill *layer 5* (*layer* pertama terdalam) orientasi serat 45°

Layer pertama terluar memiliki skala kegagalan pada kisaran 0.5 – 0.625 yang ditunjukkan dengan warna hijau (Gambar 4.12). Layer kedua terluar memiliki skala kegagalan pada kisaran 0.625 – 0.75 yang ditunjukkan dengan warna hijau kekuningan (Gambar 4.13). Layer ketiga (tengah) memiliki skala kegagalan pada kisaran 0.5 – 0.75 yang ditunjukkan dengan warna hijau *tosca* (Gambar 4.14). Layer keempat dari luar (kedua dari dalam),

memiliki skala kegagalan pada kisaran $0,375 - 0,5$ ditunjukkan dengan warna hijau *tosca* (Gambar 4.15). Layer terdalam memiliki nilai skala kegagalan pada kisaran $0 - 0,25$ ditunjukkan dengan warna biru (Gambar 4.16). Sehingga, dapat disimpulkan bahwa semua layer *shaft carbon fiber* tersebut tidak mengalami kegagalan mengacu pada simulasi Tsai – Hill.

4.4 Eksperimen

Setelah dilakukan simulasi shaft yang terbuat dari Carbon Fiber, didapatkan shaft dengan jumlah *layer* 6 dengan orientasi serat 0° dan kemudian memvariasikan orientasi serat dengan beberapa tipe. Percobaan variasi orientasi serat dari *shaft Carbon Fiber* yang berjumlah 6 *layer* 45° , merupakan hasil terbaik yang memenuhi ketentuan dari spesifikasi SM45C. Dilakukan percobaan lanjutan untuk mengurangi beban dari hasil yang sudah didapat terkait memvariasikan orientasi serat yaitu 6 *layer* 45° tersebut. Didapat hasil terbaru yaitu 5 *layer* 45° yang kemudian diaplikasikan untuk proses eksperimen.

Diawali dengan mencari cetakan sebagai *core* untuk menyesuaikan spesimen yang akan dijadikan *shaft Carbon Fiber TC35R 12k* yaitu dari . Lampu *neon* adalah cetakan yang digunakan sebagai *core* tersebut, dengan diameter luar (d_o) = 45,28 mm menyesuaikan *steel SM45C* pejal dari *shaft Honda Genio*. Lapisan terluar dari *neon* diberi *wax* untuk menetralkan dari segala bentuk debu ataupun kotoran dan berulang kali sebanyak 4x dengan jeda waktu 15 menit setiap pengolesan *wax* nya.

Kemudian, pemberian PVA (*Polyvinyl Alcohol*) pada *neon* yang bertujuan agar cetakan tidak terlalu rekat dengan *layer* awal yang menempel, perlu diberikan jeda waktu 45 menit setelah pengolesan PVA (*Polyvinyl Alcohol*) untuk kemudian memulai melapisi cetakan dengan *layer* awal *Carbon Fiber*.



Gambar 4.17 Pemberian cairan PVA (*Polyvinyl Alcohol*) pada cetakan

Setelah pengolesan PVA (*Polyvinyl Alcohol*) ini sudah dilakukan dan melewati 45 menit jeda pengeringannya, pelapisan layer awal bisa dimulai dengan melilitkan *Carbon Fiber* sesuai ukuran dimensi pada simulasi. Dengan menyemprotkan *Adhesive Spray* pada *layer Carbon Fiber* yang mana *spray* ini bersifat sebagai perekat *carbon* dengan cetakan ataupun dengan *layer carbon* selanjutnya.



Gambar 4.18 Pemberian *Adhesive Spray* dan proses pelilitan *Carbon Fiber*

Setelah proses pelilitan, *carbon* akan merekat dengan cetakan tersebut dan siap untuk pemberian *resin epoxy* secara merata. Setelah diberikan *resin epoxy* dengan perbandingan (3:1) dengan *hardener*, segera dimasukkan dililit dengan *plastic wrap* demi menjaga agar *carbon* yang sudah tercampur resin tersebut tidak berantakan. Berlanjut ke dalam *vacuum bag* untuk melakukan proses *vacuum* untuk pengeringan secara efektif.

Setelah proses *vacuum* berjalan dan menunggu sekitar 12-24 jam, shaft *Carbon Fiber* sudah dapat dibersihkan dari *plastic wrap* dan diampelas sehingga permukaan halus dan memperlihatkan surface yang baik. Pengamplasan dilakukan secara manual dengan jenis amplas mulai 80 hingga 1200. Barang siap diuji torsi sebesar 143Nm, dengan kunci torsi dengan ketentuan yang sudah disimulasikan.



Gambar 4.19 Pembungkusan *Vacuum Bag* pada *shaft Carbon Fiber*



Gambar 4.20 Pengujian torsi menggunakan kunci torsi sebesar 143Nm



Gambar 4.21 *Shaft Carbon Fiber* dalam proses penimbangan

Proses eksperimen pembuatan shaft ini menghasilkan massa dari shaft carbon fiber TC35R 12k sebesar 0,794 kilogram atau 794 gram. Dengan perbandingan dengan shaft Honda Genio 1994 yang mengaplikasikan steel SM45C sebesar 11,259 kilogram atau 11259 gram.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian berupa simulasi dengan software finite element, proses eksperimen, pengolahan data, dan analisa maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil simulasi didapatkan bahwa *shaft Carbon Fiber* dengan ketebalan 6 *layer* berorientasi sudut 0° sudah memenuhi, karena setelah dilihat dari 3 aspek yaitu *Angle of Twist*, *Torsional Stiffness* dan *Maximum Shear Stress* sudah memenuhi untuk dinyatakan lebih baik dibandingkan baja pejal SM45C.
2. Setelah dilakukan simulasi untuk menentukan layer yang digunakan, didapatkan hasil simulasi terkait variasi orientasi serat yang terbaik yaitu orientasi 45° pada keenam *layernya*.
3. Sesuai dengan tujuan dari penelitian ini dimana *composite carbon fiber* ini merupakan material yang dikenal memiliki *density* yang jauh lebih ringan dibandingkan baja. Maka dari itu, dilakukan simulasi dengan mengurangi jumlah *layer* untuk orientasi serat 45° dalam beberapa model dan didapatkan hasil berupa *shaft Carbon Fiber* dengan ketebalan 5 *layer* yang memiliki orientasi serat 45° di setiap *layernya* adalah hasil terbaiknya dibandingkan baja pejal SM45C.
4. Pada proses eksperimen dilakukan pembuatan *prototype shaft*. *Prototype shaft* dikenai oleh pengujian torsi sebesar 143 Nm. Dari pengujian tersebut didapatkan bahwa *prototype* telah memenuhi ketentuan ditandai dengan tidak terjadinya kerusakan pada *shaft*.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian dan diharapkan berguna untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Berhati-hatilah akan keselamatan kerja disaat melakukan proses eksperimen karena salah satunya adalah serat dari *Carbon Fiber* yang cukup mengakibatkan gatal hingga iritasi di kulit.
2. Proses pembuatan resin harusnya dilakukan dengan sangat teliti untuk menakar campuran resinnya. Serta proses pelapisan resin seharusnya dilakukan hingga merata.
3. Penggunaan alat uji seharusnya disesuaikan dengan kebutuhan. Apabila alat yang digunakan dirasa kurang, maka diusahakan untuk mencari akses agar dapat menggunakan alat yang ideal.

DAFTAR PUSTAKA

1. Fahmi Yuni Arista. “Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Fraksi Volume Epoxy - Hollow Glass Microspheres Dan Temperatur Curing Terhadap Karakteristik Tekan Komposit” Jurusan Teknik Mesin ITS. 2013
2. M.A. Badie, E. Mahdi, A.M.S. Harmouda. 2010. “*An investigation into hybrid carbon/glass fiber reinforced epoxy composite automotive drive shaft*”. Qatar
3. Fauzan. 2011. “*Analisis Karakteristik Drive Shaft Automobil Berbahan Komposit Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga*”. Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin Makassar. Indonesia.
4. Krishan K. Chawla, “*Composite Materials science and engineering*”, Germany, 1987.
5. <https://adimasramdhani.wordpress.com/2010/04/05/carbon-fiber-serat-karbon/> (17 maret 2015)
6. Ronald F. Gibson, “*Principles of composite materials mechanics*”, Department of Mechanical Engineering, Wayne State University, Detroit, Michigan. 1994.
7. <http://joseriki.blogspot.com/2011/03/komposit.html> (22 april 2015)
8. <http://artikel-teknologi.com/teknologi-komposit-serat-karbon/> (10 maret 2015)
9. Callister, Jr. William.D, 2007, “Material Sciene And Engineering An Introduction.” United State of America. Quebeecor Versailles.
10. Heru Suryanto. “Pengembangan Alat Uji Puntiran Sebagai Media Belajar Untuk Pokok Bahasan Puntiran Dalam Mata Kuliah Mekanika Teknik” Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Malang. 2009.

BIOGRAFI PENULIS



Esya Saputra lahir pada 9 Juni 1991 di Jakarta. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Lulus pendidikan formal di SD Yayasan Pendidikan Prima Swarga Bara Sangatta pada tahun 2002. Selanjutnya meneruskan sekolah di SMP Yayasan Pendidikan Prima Swarga Bara Sangatta, lulus tahun 2005, dan melanjutkan tantangan hidup untuk membentuk pribadi yang baik, kesamaptaan jasmani yang sehat serta rasa bela negara yang kuat di SMAN 10 “Melati” Samarinda, lulus tahun 2008. Selanjutnya penulis meneruskan pencarian ilmu dan bekal kehidupan di Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama masa studi di Jurusan Teknik Mesin ITS, penulis aktif dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan yang penuh intrik, problematika dan persoalan hidup. Selain, kesibukan di lingkungan kampus tersebut, Penulis menjalani perkuliahan selama 8 tahun atau kurang lebih 16 semester dengan pengalaman kerja yang sangat jauh berbeda dengan kuliah yang diemban yaitu dunia *event organizer*. Berjalannya waktu, penulis juga mengemban tugas sebagai *manager band* lokal di Surabaya, yang mana nama *band indie* ini sudah cukup terdengar di sekitaran skena musik Surabaya. Dengan bergelut di dunia entertainment dan sangat kontras dengan perkuliahan yang diemban, harapan penulis dapat menjadikan hasil ini sebagai pelajaran untuk menghadapi suatu hal yang tidak sesuai keinginan, akan tetapi lingkungan sekitar sangatlah mendukung akan terselesainya suatu masalah. Mulai dari orang tua, keluarga, teman spesial, teman kampus hingga pegawai kampus.

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana, penulis menempuh Tugas Akhir dibawah bimbingan Dr. Sutikno, S.T., M.T. Penulis dapat dihubungi melalui email di travelesya@gmail.com atau SMS/WA di 082230590259.